

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID

Facultad de Medicina



Impacto de la implementación de ecocardiografía neonatal dirigida en la práctica clínica de
una unidad de cuidados intensivos neonatal

Tesis Doctoral

CECILIA HERBOZO NORRY

Madrid, 2015

Directores

Prof. José Quero Jiménez

Impacto de la Implementación de Ecocardiografía Neonatal
Dirigida en la Práctica Clínica de una
Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal

“La invasión de una armada puede resistirse, pero no una idea cuyo tiempo ha llegado”

Victor Hugo

Cecilia Herbozo Nory

Noviembre de 2015

Agradecimientos

A **mi familia** fuente de amor y apoyo constante.

Al **Dr. Patrick J McNamara**: Mi mentor, un ejemplo de pasión por la neonatología y la investigación. Agradezco a él la enseñanza en ecocardiografía neonatal y su asesoría en la realización de éste trabajo, así como la autorización para el uso de las imágenes utilizadas en este trabajo.

Al **Dr. José Quero** por la orientación y supervisión, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido.

A **mis pacientes** motivo de mis días de trabajo con quienes aprendo y encuentro nuevas experiencias enriquecedoras cada día.

Impacto de la Implementación de Ecocardiografía Neonatal Dirigida en la Práctica Clínica de una Unidad de Cuidados Intensivos Neonatal

El uso de la ecocardiografía neonatal dirigida (TnECHO) para la evaluación del estado cardiovascular de los neonatos ha ido ganando importancia en el área neonatal en los últimos diez años. El propósito de la TnECHO es dar información acerca de la fisiología cardiovascular del paciente en tiempo real, para así poder tomar decisiones para el manejo clínico del paciente. En la mayoría de Unidades de Cuidados Intensivos Neonatales (UCIN), la evaluación de la función cardiovascular y hemodinámica se realiza utilizando parámetros clínicos como son la frecuencia cardíaca, presión arterial, y otros parámetros clínicos pobremente validados como el llenado capilar,⁵² medidas indirectas de perfusión tisular como son el flujo urinario, niveles de lactato séricos, etc. Debemos considerar que los neonatos, y especialmente los recién nacidos pretérmino, tienen una transición a la vida extrauterina con cambios hemodinámicos complejos y dinámicos, con cambios en la resistencia vascular sistémica y pulmonar, con una respuesta variable del miocardio inmaduro, con presencia de shunts intra y extracardiacos, lo cual hace que la evaluación clínica constituya una visión limitada de los cambios complejos que están ocurriendo en la función cardiovascular de estos pacientes. Esto dificulta la toma de decisiones terapéuticas en esta población. Sin la ayuda de la TnECHO, los neonatólogos debemos especular acerca de la fisiopatología de lo que ocurre en un recién nacido con compromiso hemodinámico e ir tomando decisiones para tratar a estos pacientes sin tener evidencia de lo que está ocurriendo realmente. Para que la TnECHO realmente cumpla su potencial rol en las UCIN, debe estar disponible las 24 horas del día, todos los días del año.

La combinación de un examen clínico acucioso y ecocardiografía a pie de cama han mostrado que mejora el diagnóstico clínico y el manejo de los pacientes en otras especialidades como cuidados intensivos, anestesiología y unidades de emergencia.

Existe ya evidencia, aunque escasa, de que el uso rutinario de la TnECHO en las unidades de cuidados intensivos neonatales ayuda a identificar compromiso

cardiovascular, puede generar cambios en el manejo y potencialmente mejorar los cuidados de nuestros pacientes.

En el año 2006, se implementó un servicio de TnECHO en el Hospital for Sick Children (HSC) en Toronto, Canadá. El objetivo de este estudio fue revisar y describir el servicio de TnECHO de HSC, identificar las solicitudes para la realización de TnECHO y evaluar su potencial impacto en la toma de decisiones clínicas en un periodo de 4 años. Es un estudio retrospectivo donde se auditaron las historias clínicas de los neonatos ingresados en la UCIN que precisaron un examen con TnECHO en el HSC entre septiembre de 2007 y Abril del 2011. La UCIN del HSC es un centro de referencia cuaternario con 36 camas que atiende a la ciudad de Toronto (Greater Toronto Area), en Canadá.

El equipo médico que maneja a los pacientes solicita una interconsulta al equipo de TnECHO como parte de la evaluación o manejo de su paciente. El equipo de TnECHO realiza una evaluación clínica y ecocardiográfica del paciente y emite un reporte y sugerencias para el manejo del mismo. Es decisión del equipo médico tratante si poner en práctica o no las recomendaciones del equipo de TnECHO.

Se realizaron 512 evaluaciones en 199 neonatos. Cada neonato tuvo una mediana de 2 evaluaciones (1-15). La mediana de edad gestacional (EG)(rango) fue de 27.6 semanas (23-41.7) y la mediana de peso fue de 1155 g (477g-5005g). La mayoría de los pacientes (n=121, 62%) eran menores de 28 semanas de EG al nacer. Los diagnósticos más comunes en la población estudiada fueron prematuridad y síndrome de distrés respiratorio en 153 (77%) pacientes, encefalopatía hipóxico isquémica en 15 (8%) pacientes, hipertensión pulmonar persistente en 12 (6%) pacientes, entre otros.

El número de interconsultas de TnECHO fue ascendiendo progresivamente, tal que hubo sólo 8 estudios en los últimos 4 meses del año 2007, comparado con 60 evaluaciones en el primer trimestre del año 2011.

Las indicaciones más frecuentes de TnECHO fueron evaluación del ductus arterioso persistente (DAP) en 261 (51%) de evaluaciones, evaluación del estado cardiovascular post ligadura de ductus en 101 (19.7%) evaluaciones, evaluación de la hemodinámica pulmonar en 81 (15.8%), entre otras.

Los resultados de TnECHO llevaron a cambios en el manejo en 212 evaluaciones (41%), siendo los cambios más frecuentes: variaciones en la elección de inotropos, tratamiento del ductus. Además se evitaron intervenciones previamente planificadas en 112 evaluaciones (22%), un número considerablemente alto. También se encontraron diagnósticos que no habían sido sospechados previamente en 31 evaluaciones (6%).

El uso de la ecocardiografía dirigida para guiar el manejo cardiovascular de los neonatos se ha vuelto sumamente importante en la práctica médica en UCIN. En este estudio se describe por primera vez un servicio de TnECHO, dirigido por neonatólogos y la influencia de éste en la toma de decisiones para el manejo cardiovascular de los pacientes. En nuestro estudio identificamos cambios en decisiones clínicas que se tomaron con los pacientes que se asociaron temporalmente (en un plazo de 6 horas) con la realización de la TnECHO, sin embargo, aunque existe una relación temporal estrecha entre el momento de la realización de la TnECHO y los cambios ocurridos, se trata de un estudio retrospectivo, por lo que no es posible determinar con certeza si los cambios hubieran ocurrido de cualquier forma, incluso sin tener la información de la TnECHO.

Es de suma importancia tener claro, incluso protocolizado o estandarizado, cuando se debe recurrir a una TnECHO y cuando se necesita una evaluación anatómica completa por parte del servicio de cardiología pediátrica, así como mantener una colaboración estrecha entre neonatólogos y cardiólogos pediatras pues esto redundará en beneficio del paciente.

A pesar de no haber estudios que muestren un efecto beneficioso del uso de TnECHO en los resultados de los neonatos a mediano o largo plazo, si consideramos la alta morbilidad asociada al compromiso cardiovascular en la etapa neonatal, y la inocuidad del uso de la ecocardiografía, su uso parece entonces muy recomendado.

Impact of implementation of a targeted neonatal echocardiography (TnECHO) service on medical practice in a neonatal intensive care unit

The use of targeted neonatal echocardiography (TnECHO) in the assessment of a newborn's cardiovascular status has been gaining relevance in the last decade. The purpose of TnECHO is to provide physiological information in real time in order to support clinical decision-making. In the majority of NICUs, the assessment of cardiovascular and hemodynamic function is based on clinical parameters such as heart rate, blood pressure; poorly validated parameters as capillary refill, or surrogate markers of perfusion as urine output, serum lactate, etc. We should consider that newborns, especially those born prematurely, go through a transition to extra uterine life, with complex and dynamic hemodynamic changes, with changes in systemic and pulmonary vascular resistance, with a variable response of a immature myocardium with the presence of intra and extra cardiac shunts, therefore clinical assessment constitutes a limited view of the complex changes occurring in the cardiovascular function of these patients, which makes therapeutic decisions challenging in this population. Without TnECHO, neonatologists have to speculate in terms of the pathophysiology occurring in a hemodynamic compromised baby and make clinical decisions without a full knowledge of what is really occurring. For TnECHO to be really useful in a NICU, it must be available on a daily basis (24 hours per day).

Combination of clinical examination and bedside echocardiography has been shown to improve clinical diagnosis and patient management in other specialties such as intensive care, anesthesiology and emergency medicine.

There is scarce evidence that routine use of TnECHO in NICU helps identify cardiovascular compromise and may generate changes in management, which may potentially benefit patient's care.

A TnECHO service was first introduced to the Hospital for Sick Children (HSC), Toronto in 2006. The purpose of this study was to review and describe the TnECHO service, identify the indications for performing a TnECHO and assess its potential

effect on clinical decision making at our center over a 4-year period.

This was a retrospective audit of neonates admitted to the NICU at the HSC, who received a TnECHO examination, between September 2007 and April 2011. The HSC is a 36 bed quaternary out-born referral NICU serving the greater Toronto area in Canada.

The clinical team managing the infant usually requests a TnECHO consultation to support clinical judgment that may aid in the infants' management. A TnECHO consultation is defined as a detailed clinical appraisal of cardiorespiratory wellbeing, followed by an echocardiogram, leading to the formulation of a therapeutic recommendation. The decision to accept its recommendations was at the discretion of the attending neonatologist in charge of clinical care.

A total of 199 infants underwent 512 echocardiography assessments. The median (range) gestation and weight at birth were 27.6 (23.0 to 41.7) weeks and 1155 (477 to 5005) grams, respectively. The majority of infants (n = 121, 62%) were under 28 weeks gestation at birth. The most common (n =153, 77%) primary diagnosis at admission was prematurity and respiratory distress syndrome; 15 (8%) were admitted with a primary diagnosis of hypoxic ischemic encephalopathy; 12 (6%) with persistent pulmonary hypertension of the newborn amongst other diagnoses.

The number of TnECHO consults increased throughout the years. There were 8 consults in the last 4 months of 2007, compared to 60 consults in the first trimester of 2011.

The majority of infants underwent an echocardiogram for assessment of PDA significance (n=261, 51%) or for guiding cardiovascular care following PDA ligation (n=101, 19.7%), and 81 (15.8%) TnECHOs were performed to evaluate pulmonary hemodynamics.

TnECHO resulted in a change in management after 212 (41%) consultations; the most common of decisions related to choice of inotrope therapy and PDA care. In addition, a

planned intervention was avoided in a further 112 (22%) of consultations. An unexpected diagnosis occurred in 31 (6%) of cases.

The use of real-time TnECHO to guide cardiovascular care has become an integral component of NICU practice. This is the first descriptive report of a dedicated TnECHO service, led by neonatologists, and its influence on cardiovascular decision-making. We identified changes in clinical decisions temporally associated with TnECHO consultations. Although there is a close temporal relationship between the timing of the TnECHO and the changes described, this is a retrospective cohort study, and it is not possible to determine the outcome if TnECHO consultation did not occur.

The practice of TnECHO needs to be properly regulated within a secure infrastructure, with clear guidelines of when a complete anatomic echocardiography is needed. A close collaboration is needed between trained neonatologists and pediatric cardiologists with expertise in echocardiography, which will be beneficial for our patients.

Although there are no studies that demonstrate a beneficial effect of TnECHO on long-term outcomes, if we consider the high morbidity and mortality associated to cardiovascular compromise in newborns, and the safety of this examination, its use seems very highly recommended.

Índice

1. Introducción	5
2. Marco teórico	7
2.1. Ultrasonografía a pie de cama	7
2.1.1. Guía ecográfica para realización de procedimientos	8
2.1.2. Evaluación diagnóstica	8
2.1.3. Evaluación de respuesta a tratamiento instaurado	9
2.2. Ecocardiografía realizada por médicos no cardiólogos	9
2.2.1. Ecocardiografía en cuidados intensivos	10
2.2.2. Ecocardiografía en emergencia	15
2.2.3. Ecocardiografía por anestesiólogos	17
2.2.4. Ecocardiografía por médicos clínicos	19
2.2.5. Ecocardiografía en pediatría	19
2.2.6. Ecocardiografía en cuidados intensivos neonatal	20
2.2.6.a. Ecocardiografía neonatal: ventanas y vistas	22
2.2.6.a.i. Ventana apical	24
2.2.6.a.ii. Ventana paraesternal eje largo	26
2.2.6.a.iii. Ventana paraesternal eje corto	27
2.2.6.a.iv. Ventana paraesternal alta	30
2.2.6.a.v. Ventana ductal	30
2.2.6.a.vi. Ventana para arco aórtico	31
2.2.6.a.vii. Ventana supraesternal	32
2.2.6.a.viii. Ventana subcostal	32
2.2.6.b. Ecocardiografía para la evaluación del ductus arterioso persistente	36
2.2.6.c. Ecocardiografía para la evaluación del síndrome cardíaco post-ligadura de DAP	44
2.2.6.d. Ecocardiografía para la evaluación del recién nacido hemodinámicamente inestable	45

2.2.6.e. Ecocardiografía para la evaluación de función miocárdica	49
2.2.6.f. Ecocardiografía para la evaluación de la perfusión de órganos	51
2.2.6.g. Ecocardiografía para la evaluación de la hemodinámica pulmonar	53
2.2.6. h. Ecocardiografía para verificar la posición de catéteres centrales	54
2.3. Entrenamiento para realización de ultrasonografía a pie de cama	58
2.4. Telemedicina en ecocardiografía a pie de cama	62
3. Objetivos	64
4. Material y métodos	65
5. Resultados	68
6. Discusión	83
7. Conclusiones	93
Bibliografía	94
Anexo 1	113
Anexo 1 traducido a castellano	119
Listado de abreviaturas	128

1. Introducción

La ultrasonografía o ecografía se ha utilizado como una forma segura y efectiva para ayudar en el diagnóstico y tratamiento de los pacientes en los últimos 60 años. La ultrasonografía se empieza a utilizar en el ámbito médico en los años 1950s, inicialmente como método de evaluación del abdomen, y rápidamente se adopta esta técnica para evaluación de otros sistemas como el cardiovascular. En las últimas dos décadas ha habido grandes avances tecnológicos en los equipos de ultrasonido, pues ahora se cuenta con equipos de ultrasonido portátiles, compactos, con buena calidad de imagen, similar incluso a la de equipos de laboratorios de imagen ¹ y a precios más accesibles, lo que ha permitido un uso más extendido del ultrasonido. Es así que emerge el concepto de ultrasonografía a pie de cama, que significa una ultrasonografía realizada e interpretada por el clínico tratante a pie de cama, en tiempo real.^{2,3} En el año 2004, el Instituto Americano de Ultrasonografía en Medicina celebró una conferencia acerca de la ultrasonografía compacta, en donde se concluye que “el concepto de un estetoscopio con ultrasonido está pasando de la teoría a la realidad muy rápidamente”. ²

Es así que en las últimas décadas, el uso del ultrasonido a pie de cama se ha ido generalizando, y se ha convertido en una herramienta indispensable para ayudar en el diagnóstico y manejo de los pacientes en estado crítico o agudo.³

En los últimos diez años, el uso de la ecocardiografía neonatal dirigida (TnECHO en sus siglas en inglés) para evaluar el estado cardiovascular de los neonatos ha ido ganando importancia en el área neonatal. El propósito de la TnECHO es dar información acerca de la fisiología cardiovascular del paciente en tiempo real, para así poder tomar decisiones para el manejo clínico del paciente.⁴ De esta forma se puede tener un mejor entendimiento de los procesos fisiológicos que están ocurriendo en nuestros pacientes y así podemos tomar decisiones más acertadas para el manejo de estos, así como monitorizar su respuesta a las conductas tomadas. La combinación de

un examen clínico acucioso y ecocardiografía a pie de cama han mostrado que mejora el diagnóstico clínico y el manejo de los pacientes.⁵ Por este motivo, la ecocardiografía ha dejado ya de ser un campo exclusivo de los cardiólogos y su uso se ha ido generalizando a médicos de otras especialidades como intensivistas, anestesiólogos y emergencistas. En las unidades de cuidados intensivos de adultos, el uso de ecocardiografía transesofágica y transtorácica es común y se ha demostrado que esta práctica cambia el manejo clínico en un 30% de los pacientes evaluados, incluso detectando diagnósticos no sospechados y graves en hasta un 10% de pacientes.⁶ Además también existe un uso generalizado de la ecocardiografía por parte de los anestesiólogos como parte de la evaluación prequirúrgica o intraoperatoria de los pacientes.⁷ En la última década los médicos emergencistas también han adoptado esta práctica para la evaluación de los pacientes. El rol del ultrasonido en emergencia es el de evaluaciones rápidas y dirigidas para instaurar un tratamiento precoz en casos en que el tiempo es crítico.⁸

Existe ya evidencia, aunque escasa, de que el uso rutinario de la TnECHO en las unidades de cuidados intensivos neonatales ayuda a identificar compromiso cardiovascular, puede generar cambios en el manejo y potencialmente mejorar el manejo de nuestros pacientes.^{9,10}

En el año 2006, se implementó un servicio de TnECHO en el Hospital for Sick Children (HSC) en Toronto, Canadá. El objetivo de este estudio fue revisar y describir el servicio de TnECHO de HSC, identificar las indicaciones para la realización de TnECHO y evaluar su potencial impacto en la toma de decisiones clínicas en un periodo de 4 años.

2. Marco teórico

2.1. Ultrasonografía a pie de cama

Los primeros equipos de ultrasonido se desarrollaron en los años 1950s, basándose en tecnología de radares que había sido desarrollada en la primera y segunda guerra mundial.¹¹ En los siguientes 30 años, el uso de la ultrasonografía fue adoptado por los radiólogos, gineco-obstétricos y cardiólogos. En la década de los 1980s, el uso del ultrasonido se extiende a los anestesiólogos como parte de la evaluación intraoperatoria de la cirugía cardíaca.¹² En los 1990s, con la aparición de equipos de ultrasonografía compactos, portátiles y con buena calidad de imagen, empieza un gran cambio, pues se inicia el uso de ultrasonido a pie de cama por el médico tratante. Es así que surge el concepto de ultrasonografía a pie de cama, que implica que el ultrasonógrafo sea llevado al lugar donde está el paciente y la ecografía sea realizada por su médico tratante, dando así información del estado del paciente en tiempo real. Esto permite que los hallazgos de las imágenes se correlacionen con los síntomas y signos del paciente para así poder tomar las decisiones pertinentes para el manejo de éste. Es importante recordar también, que la ultrasonografía a pie de cama se puede repetir rápidamente en el caso de que la condición clínica del paciente variara para así poder rectificar o adecuar nuestro manejo para beneficio del paciente. El siguiente paso se verá cuando se incorpore la ultrasonografía a la práctica médica diaria, es decir cuando realicemos un examen físico asistido por ultrasonido o cuando se realicen procedimientos con guía ultrasonográfica, en lugar de que se trate de un examen auxiliar o complementario.¹² Ya en el año 2002, la Sociedad Americana de Ecocardiografía apoyaba el concepto de examen asistido por ultrasonografía, comentando lo siguiente “creemos que esta tecnología ampliará el concepto de un examen físico completo, permitiendo una evaluación más rápida de la anatomía, función y fisiología del corazón”.¹³

La ultrasonografía a pie de cama tiene varias aplicaciones:

2.1.1. Guía ecográfica para realización de procedimientos:

La guía por ultrasonido podría mejorar el éxito y disminuir las complicaciones de diversos procedimientos que se realizan por diferentes especialistas. Dentro de estos se incluye colocación de catéteres centrales de acceso central o periférico, toracocentesis, paracentesis, artrocentesis, anestesia local, incisión y drenaje de abscesos, localización y extracción de cuerpos extraños, realización de punción lumbar, toma de biopsias entre otros procedimientos.¹³ La guía ecográfica se puede realizar de manera estática, ubicando la estructura de interés por medio de ecografía y marcando la piel, o dinámica, en la que se visualiza la inserción de la aguja en tiempo real y se guía de esta manera. Ya hay estudios que han demostrado que el uso de ultrasonido en tiempo real para guiar la inserción de catéteres venosos centrales reduce las tasas de fallo, las complicaciones y el número de intentos para obtener la vía.¹⁴

2.1.2. Evaluación diagnóstica:

La ultrasonografía a pie de cama involucra una serie de sistemas que podrían ser evaluados. Existe entonces una serie de exámenes ecográficos enfocados, dirigidos o limitados que se utilizan para diagnosticar o descartar ciertas condiciones. Por ejemplo en pacientes que acuden a emergencia por trauma, existe un protocolo de ultrasonografía limitada llamado evaluación enfocada de ultrasonido para trauma (FAST en sus siglas en inglés). Se acuñó el nombre de FAST a la evaluación enfocada o dirigida para detectar fluido, posiblemente secundario a hemorragia, en casos de trauma.¹⁴ Algunos años después se amplió esta evaluación y se llamó FAST extendido (eFAST), donde se incluía además el examen del tórax para descartar la presencia de neumotórax.¹⁶ El eFAST permite entonces una evaluación inmediata y dinámica para detectar condiciones graves. Comprende 5 evaluaciones dirigidas que son: la detección de fluido libre intraperitoneal, líquido libre en pelvis, efusión pericárdica, efusión pleural y neumotórax.¹⁶ El protocolo FAST se completa en menos de 5 minutos y se ha demostrado que tiene una sensibilidad de 73 a 99%, especificidad de 94 a 98%

y una precisión aproximada de 90-98% para reconocer daño intraabdominal significativo.¹⁷

2.1.3. Evaluación de respuesta a tratamiento instaurado:

Se utiliza también para evaluar la respuesta de los pacientes a un tratamiento instaurado y para dirigir así el manejo del paciente crítico, como por ejemplo, el seguimiento de la respuesta a bolo de fluidos en caso de shock, la respuesta a determinados fármacos como pueden ser inotropos, óxido nítrico en el manejo de la hipertensión pulmonar, entre otros.

La ultrasonografía a pie de cama comprende la evaluación de distintos aparatos y sistemas, incluyendo el cerebro, corazón, pulmones, abdomen, entre otros. Cada uno de estos tiene sus aplicaciones por distintos especialistas. En el caso de neonatología, la ecocardiografía y la ecografía transfontanelar han ganado gran interés en los últimos años.

2.2. Ecocardiografía realizada por médicos no cardiólogos

El rol de la ecocardiografía transtorácica a pie de cama como un “examen físico asistido por ultrasonido” ha ido cobrando gran importancia. Dada la baja sensibilidad que tiene el examen físico para el diagnóstico de patologías cardíacas y la evaluación del estado cardiovascular, el uso de la ecocardiografía a pie de cama por parte de médicos no cardiólogos ha ido en aumento de manera muy rápida en los últimos años.¹⁸

Muchas veces este tipo de ecocardiografía es dirigida o enfocada, con el objetivo de responder a alguna pregunta clínica específica. Es por ello, que surge el concepto de examen físico asistido por ultrasonido, pues el médico tratante integra sus hallazgos clínicos con la información brindada por ultrasonografía en tiempo real. La utilización de la ecocardiografía a pie de cama se ha extendido a diferentes especialidades como cuidados intensivos, emergencia y anestesia.

2.2.1. Ecocardiografía en cuidados intensivos

El manejo de pacientes con inestabilidad hemodinámica en una unidad de cuidados intensivos (UCI) tradicionalmente se ha basado en la información clínica y la medición de una serie de parámetros como son la presión arterial, la presión venosa central, el flujo urinario, el balance ácido-base, entre otros.¹⁹ En los últimos 15 años, la ecocardiografía ha adquirido un rol protagónico en la evaluación del estado hemodinámico y la monitorización de estos pacientes pues permite una evaluación anatómica y funcional en tiempo real en pacientes en estado crítico.²⁰ Un grupo de pioneros comenzaron a utilizar ecocardiografía en la UCI en los años 1980s, especialmente en pacientes con sepsis e insuficiencia cardíaca y luego de varios años su uso se extendió para la evaluación de pacientes en estado de shock y para monitorización hemodinámica. Actualmente el uso de la ecocardiografía en UCI se ha generalizado pues es crucial tener un diagnóstico preciso y rápido en pacientes críticos.

Existen estudios en la literatura que han mostrado el impacto de la ecocardiografía realizada por sonografistas cardiacos e interpretada por cardiólogos en pacientes críticos. Uno de estos mostró un cambio en el diagnóstico de estos pacientes en un 19 a 59% y cambios en el manejo de entre 34% y 58%.²¹ Sin embargo, debemos considerar que los cardiólogos no son necesariamente los más indicados para realizar la evaluación de pacientes en UCI por varias razones: la demora en la realización del estudio, la dificultad logística para realizar estudios seriados y el conocimiento insuficiente de la situación clínica compleja de los pacientes. Además, los cardiólogos probablemente tendrían un enfoque distinto del paciente, mientras el intensivista tratante enfocaría el estudio según la situación particular de cada paciente.²² Es importante recalcar que la ultrasonografía realizada por un intensivista es una extensión de la evaluación del paciente y no un examen complementario pues es realizada por el médico tratante y no por un interconsultante, así que se da al mismo tiempo que el examen físico y la evaluación general del paciente.²² De acuerdo a muchos autores, todos los médicos intensivistas debieran estar entrenados para

realizar ecocardiografías dirigidas que ayuden a responder preguntas específicas aplicables al manejo de los pacientes en estado crítico.²² Estos exámenes dirigidos, como comentamos anteriormente, se verían pues como una extensión del examen físico. La Asociación Americana del Corazón y el Colegio Americano de Cardiología reconocen que “la era del examen físico asistido por ultrasonido ha llegado”.²³

La ecocardiografía provee una herramienta muy útil para evaluar el estado cardiovascular de un paciente críticamente enfermo. Dentro de la evaluación es importante evaluar el estado de precarga o volumen del paciente, función ventricular, presiones pulmonares, evaluación del espacio pericárdico, evaluación de las válvulas, su función e integridad, entre otras²⁴. Ya existe literatura que ha mostrado una mejora importante en la precisión del diagnóstico cuando se realiza una ecocardiografía junto con el examen físico.²⁵

Existen varias ventajas de tener a todos los médicos intensivistas entrenados en la realización de ecocardiografía, como es la disponibilidad inmediata de la ecocardiografía las 24 horas del día, la posibilidad de realizar la prueba a pie de cama, sin necesidad de transportar al paciente, el enfoque claro y el entendimiento pleno de lo que se necesita buscar según la presentación del paciente (teniendo en cuenta los posibles efectos que puede tener la ventilación mecánica, sedación, cambios en tensión de oxígeno y dióxido de carbono, el uso de inotropos, variaciones en la precarga, en la fisiología cardíaca) y la posibilidad de realizar estudios repetidos, lo cual es muy importante para evaluar la respuesta a intervenciones terapéuticas instauradas.^{22, 26}

En los últimos años, se han publicado varios estudios para evaluar el impacto de la realización de ecocardiografía a pie de cama realizada por intensivistas en sus unidades. Los principales motivos para realizar estos exámenes son identificar la causa de inestabilidad hemodinámica, distrés respiratorio, evaluación de estado de volumen y evaluar repuesta a tratamiento instaurado. Se ha visto un cambio en el manejo a consecuencia de la realización de ecocardiografía en un 16% a 51% de los casos.^{19, 27} Estos cambios en el manejo incluyeron la iniciación o cambio en los inotropos o soporte cardiovascular, fluidoterapia y terapias farmacológicas.¹⁸ Un estudio utilizó la ecocardiografía a pie de cama para predecir el fallo al destete de

ventilación mecánica relacionado al corazón evaluando la función ventricular.²⁸ La disfunción miocárdica es una de las primeras causas para fallo en el destete ventilatorio. Caille et al ²⁸ realizaron una ecocardiografía inmediatamente antes y después de un intento de respiración espontánea de 30 minutos en 117 pacientes que cumplían criterios para destete ventilatorio. Mostraron que la ecocardiografía detecta cambios hemodinámicos durante los intentos de respiración espontánea y que podría entonces ser de ayuda para identificar a pacientes en alto riesgo de fallo de destete relacionado con problemas cardiacos.²⁸ Vignon et al²⁹ mostraron que la ecocardiografía transtorácica es una excelente herramienta, incluso en pacientes en ventilación mecánica con presión positiva al final de la expiración, mostrando que habría un impacto terapéutico en aproximadamente el 25% de los casos.

El estudio realizado por Jensen et al³⁰ evaluó el uso del protocolo FATE (de acuerdo a sus siglas en inglés), evaluación ecocardiográfica transtorácica dirigida, como una herramienta para monitorizar pacientes en UCI. El protocolo FATE es una secuencia rápida cuyo objetivo es excluir patología obvia, evaluar grosor de las paredes y dimensión de las cavidades, evaluar contractilidad, visualizar la pleura de ambos lados y relacionar toda la información al contexto clínico del paciente. En este estudio, el 50% de los pacientes eran pacientes post cirugía cardiaca. Realizaron un total de 227 ecocardiografías. En este estudio, el uso del protocolo brindó nueva información en el 37.3% de los casos, ayudó a la toma de decisiones en un 24.5% de los casos y brindó información de apoyo en un 35.6% de casos.

En el estudio realizado por Orme et al¹⁹ se examinaron 217 pacientes con el fin de identificar el impacto y el cambio en tratamiento tras la realización de ecocardiografía a pie de cama. Se realizaron 258 ecocardiografías, de las cuales 224 (86.8%) fueron realizadas por los médicos intensivistas. Encontraron un 51.2% de cambio en tratamiento, de los cuales 107 (41.5%) fueron cambios importantes como administración de fluidoterapia, cambios en el soporte inotrópico o en la medicación, cambios en la intervención cardiaca programada y limitación de tratamiento. Además se encontró algún hallazgo cardiaco que no había sido sospechado en un 9% de los casos.

Vignon et al³¹ evaluaron 55 pacientes y mostraron un cambio en el manejo de 49%-51%.

Stanko et al²¹ realizaron un estudio prospectivo en el que se realizó una entrevista estructurada a los médicos tratantes antes y después de la realización de la ecocardiografía para ver si ésta había generado algún cambio en el diagnóstico o manejo de los pacientes. Se realizaron 135 ecocardiografías en 126 pacientes. Ocurrió un cambio en el diagnóstico en el 29% de estudios y un cambio en el manejo en el 41% de estudios realizados. La mayoría de los cambios en el manejo fueron menores (como iniciar alguna nueva medicación, cambios en la dosificación o discontinuación de alguna medicación, añadir fluidos, o solicitar una interconsulta). El 8% de los cambios fueron mayores, como iniciar un tratamiento quirúrgico o discontinuar el tratamiento activo y pasar a cuidados paliativos.

En el estudio de Marcelino et al⁶ se evaluó 704 ecocardiografías realizadas por intensivistas en una UCI general durante un periodo de 18 meses. Se encontró anomalías ecocardiográficas en el 33% de pacientes. Se encontró también diagnósticos cardiológicos severos previamente no sospechados en el 7.5% de los pacientes. Los autores concluyen que el uso de la ecocardiografía en una UCI general es de utilidad pues hubo hallazgos importantes que podrían repercutir en el manejo de los pacientes.

Rugolotto et al³² mostraron que el uso de ecocardiografía portátil (de mano) cambió tratamiento en 13 de 55 pacientes. Los autores concluyen que el uso de ultrasonido a pie de cama en UCI mejora la precisión del diagnóstico de enfermedades o anomalías cardíacas, lo cual lleva a un cambio en el manejo que podría ser beneficioso para el paciente.

Uno de los usos de ecocardiografía en UCI es la evaluación del estado hemodinámico. Como sabemos, la hipotensión indica una anomalía hemodinámica, sin embargo, no nos da información sobre la causa de ésta. Por lo tanto, resulta lógico pensar que si podemos hacer una evaluación ultrasonográfica para determinar la causa de la hipotensión, esto podría resultar en un mejor manejo de los pacientes, y por ende, mejores resultados.³³ Con la evaluación ecocardiográfica podríamos identificar la causa de la hipotensión y así dirigir el tratamiento de acuerdo a ésta. Algunos

autores³³ simplifican la evaluación del estado hemodinámico separándolo en siete categorías:

- a. Normal
- b. Hipovolemia
- c. Fallo diastólico primario
- d. Fallo sistólico primario
- e. Fallo sistólico y diastólico
- f. Fallo del ventrículo derecho
- g. Vasodilatación

De esta forma, la interpretación de la evaluación ecocardiográfica hemodinámica se simplifica para así poder enfocar el tratamiento adecuadamente. El tratamiento de cada una de estas condiciones es distinto, sin embargo, sin tener la información de la ecocardiografía, los síntomas y signos del paciente serían similares, así que sin esta información, trataríamos a estos pacientes de una forma estándar, sin saber realmente cual es la fisiopatología de lo que está ocurriendo y sin poder entonces adecuar nuestro tratamiento a ella. Ahí radica pues la importancia de la evaluación ecocardiográfica a pie de cama en pacientes en estado crítico, para poder así enfocar, racionalizar y optimizar nuestro tratamiento.^{34, 35, 36}

La ecocardiografía en la UCI no sólo es útil para la evaluación de la anatomía y función cardíaca sino que puede ser una herramienta que salve vidas. Cuando un médico tiene en frente a un paciente crítico en estado de shock, no habrá ninguna otra evaluación no invasiva que en pocos minutos nos oriente hacia la causa del problema y nos ayude a solucionarlo.³⁷ Debemos recordar que la clínica sola, incluso en manos de los intensivistas más experimentados, no nos da un entendimiento pleno del estado hemodinámico y circulatorio del paciente y es ahí donde la ecocardiografía a pie de cama juega un rol crucial.

2.2.2. Ecocardiografía en emergencia

En los últimos años, el rol del ultrasonido a pie de cama en la emergencia se ha ido expandiendo, siendo un examen breve y rápido que se realiza en indicaciones dirigidas como la evaluación de la función cardíaca, la contractilidad para ayudar a diferenciar entre las causas de shock, dolor torácico y disnea o por ejemplo para buscar causas reversibles durante un paro cardíaco o para descartar una efusión pericárdica que podría estar causando compromiso hemodinámico.⁸ Inicialmente, cuando se empezó a usar la ultrasonografía por los médicos de urgencias, ésta se usaba en pacientes con trauma, para descartar líquido libre en distintas cavidades (intraperitoneal, pelvis, pericárdico y pleural) como en el protocolo FAST¹⁶, que como comentamos anteriormente luego fue ampliado para evaluar también la presencia de neumotórax (eFAST)¹⁷. A finales de los años 1980s e inicio de los 1990s, el uso del ultrasonido en emergencia se expande y se empieza a utilizar la ecocardiografía dirigida. En el año 1988 aparece uno de los primeros reportes del uso de ecocardiografía por médicos emergencistas³⁸. Los autores proponen el uso de este examen al ser rápido y no invasivo pues sugieren que mejora el diagnóstico y terapia de los pacientes en emergencia. Poco después aparece el estudio de Plummer et al³⁹ en el que revisan su experiencia en lesiones penetrantes cardíacas antes y después del uso de ecocardiografía en la emergencia. Los autores concluyen que hubo una mejoría significativa en el tiempo para llegar al diagnóstico, en la tasa de sobrevivida y en los resultados neurológicos de los pacientes. Posteriormente aparecen más estudios que muestran que la ecocardiografía a pie de cama realizada por los médicos emergencistas ayuda a hacer un diagnóstico correcto, a mejorar el tratamiento y las decisiones que se toman y que mejoran significativamente el cuidado de los pacientes.^{39,40} En el estudio de Levitt y Jan⁴⁰ se incluyeron 100 pacientes con sospecha de patología cardiovascular. Se encuestó a los médicos tratantes para ver el nivel de confianza que tenían en cuanto al diagnóstico y tratamiento de sus pacientes antes y después de la realización de una ecocardiografía. Se evaluó si había habido cambios en el manejo de los pacientes luego de tener la información brindada por la

ecocardiografía. Hubo un cambio en el diagnóstico en 37 pacientes, un cambio en el tratamiento de 25 pacientes, además de que los médicos refirieron tener mayor certeza o confianza en el diagnóstico y manejo de sus pacientes luego de la ecocardiografía.⁴⁰

Mandavia et al⁴¹ evalúan la precisión de ecocardiografías realizadas por médicos emergencistas para detectar efusiones pericárdicas, para lo cual realizan 515 ecocardiografías (de las cuales 478 son consideradas técnicamente adecuadas). Muestran que tienen una sensibilidad del 96% y especificidad del 98%, concluyen pues que la ecocardiografía realizada por médicos emergencistas es confiable para la evaluación de efusiones pericárdicas, por lo que sugieren que sería una herramienta muy útil en casos de pacientes con alto riesgo de esta patología.

En el año 2010 aparece un consenso entre la Sociedad Americana de Ecocardiografía y el Colegio Americano de Médicos de Emergencias.⁸ En este consenso se afirma que el rol principal de la ecocardiografía dirigida en emergencias (FOCUS según sus siglas en inglés) es la evaluación rápida, en el momento adecuado, de los pacientes sintomáticos. El FOCUS incluye principalmente la evaluación de efusión pericárdica, tamaño de las cámaras (dilatación de ventrículo izquierdo o derecho), función cardíaca global y el estado de volumen intravascular del paciente. Además FOCUS también se utiliza para guiar procedimientos invasivos urgentes como son la pericardiocentesis o para evaluar la posición de cables de marcapasos colocados de manera urgente. El protocolo FOCUS ha sido parte integral de la evaluación de trauma por más de 20 años, siendo parte de la evaluación FAST. Ya hay amplia evidencia en la literatura que ha llevado a la incorporación de FOCUS en el entrenamiento del American Trauma Life Support (ATLS).⁸

Recientemente, ha habido un creciente interés en intentar determinar cual es el entrenamiento mínimo que debiera tener un médico emergencista para poder realizar ecocardiografías que sean fiables. En el estudio de Bustam et al⁴² se mostró que los residentes de emergencias pudieron realizar e interpretar ecocardiografías enfocadas o dirigidas de manera fiable tras un periodo corto de entrenamiento. El objetivo del estudio fue diseñar un entrenamiento corto y sencillo y luego evaluar la habilidad de los residentes de emergencias, con mínima experiencia, para realizar e interpretar las

ecocardiografías luego del entrenamiento. Hicieron un módulo de enseñanza vía web y luego un entrenamiento práctico supervisado de 3 horas. Luego fueron evaluados en la estimación de función de ventrículo izquierdo, detección de efusión pericárdica y diámetro de la vena cava inferior. Nueve residentes de emergencias realizaron 100 ecocardiografías. Hubo concordancia entre la opinión de los residentes y el cardiólogo en un 93% de las ecocardiografías.

Si tenemos en cuenta que hay muchos hospitales que no cuentan con ecocardiografistas las 24 horas del día, resulta muy importante que los médicos de emergencias tengan por lo menos un nivel básico de entrenamiento para poder descartar patologías graves o críticas que requieren de un tratamiento rápido.

2.2.3. Ecocardiografía por anestesiólogos

En las últimas dos décadas, los anestesiólogos han estado realizando ecocardiografía transesofágica durante la cirugía cardíaca para ayudar con el manejo y la toma de decisiones de los cirujanos cardiovasculares. Esto ya es parte rutinaria del manejo por parte de los anestesiólogos cardíacos, sin embargo, recientemente el uso de la ecocardiografía por estos especialistas se ha ido ampliando, realizándose ahora ecocardiografía transtorácica en el periodo peri operatorio.⁴³ Este tipo de ecografía no pretende sustituir una evaluación completa por parte de los cardiólogos sino responder preguntas en concreto para enfocar o manejar un determinado problema en el periodo peri operatorio.

En su estudio⁴³, Cowie describe el FOCUS (Ultrasonido cardíaco enfocado) en 50 pacientes en el periodo perioperatorio. La indicación de la prueba en su mayoría de casos fue la auscultación de un soplo sistólico con sospecha de enfermedad valvular, inestabilidad hemodinámica y evaluación de función ventricular. Tras la realización del FOCUS, se cambió la conducta en el manejo en el 84% de los casos siendo en su mayoría cambios en los requerimientos de monitoreo invasivo (inserción de catéter

intra arterial antes de la inducción de anestesia, no necesidad de monitoreo invasivo, etc).

En otro estudio de Cowie⁷ se estudió el uso de FOCUS en un periodo de 3 años, con el fin de ver si este estudio influenciaba en las decisiones terapéuticas. Las principales indicaciones del FOCUS fueron inestabilidad hemodinámica, soplo cardiaco, evaluación de función ventricular, disnea o hipoxemia, capacidad funcional pobre. La ecocardiografía se realizó en el periodo perioperatorio. Se vio que hubo algún cambio en el manejo de los pacientes tras la realización de la ecocardiografía en el 82% de los casos, siendo los cambios más comunes el uso de monitorización invasiva o evitar el uso de ésta, administración de volumen, cambio en la técnica de anestesia o algún hallazgo que requería una evaluación completa por parte de cardiología. Hubo incluso 7 casos (4%) en que se canceló el procedimiento previsto. Este estudio apoya la utilización de la ecocardiografía transtorácica enfocada por parte de los anestesiólogos pues se ha visto que los pacientes podrían beneficiarse gracias a la información obtenida por dicho estudio. Hay que tener en cuenta sin embargo, que el estudio muestra los cambios en el manejo que hubo, sin embargo no se sabe si estos cambios realmente influenciaron positivamente a los resultados de los pacientes.

En el estudio de Klein et al⁴⁴ se vio que el uso de ecocardiografía transesofágica durante cirugía cardiaca influenció en la conducta tomada, generando un cambio en el procedimiento quirúrgico planificado en 312 (15%) de los casos.

Canty y Royse⁴⁵ mostraron que la ecocardiografía realizada por anestesiólogos llevó a un cambio en el manejo de los pacientes, sobre todo en aquellos casos que serían sometidos a cirugías de urgencia.

Claramente el uso de ecocardiografía por anestesiólogos está extendiéndose, siendo ahora parte del manejo incluso en casos de cirugía no cardiaca.

2.2.4. Ecocardiografía por médicos clínicos

Recientemente se ha empezado a hablar del examen físico asistido por ultrasonido. En este contexto han surgido estudios que sugieren que el ultrasonido portátil puede mejorar la precisión del examen físico cardíaco de los cardiólogos⁴⁶, médicos residentes⁴⁷, entre otros. El estudio de Spencer et al⁴⁶, por ejemplo, mostró que el examen físico realizado por cardiólogos detecta sólo un 57% de anomalías cardíacas que se identificaron por ecocardiografía. El estudio de Martin et al⁴⁸ evaluó el examen físico de médicos internistas de planta en 354 pacientes de medicina. Se vio que el uso de la ecocardiografía portátil mejoró la evaluación de los médicos de planta en cuanto a la evaluación de la función ventricular, cardiomegalia y efusión pericárdica; sin embargo, no mejoró la evaluación de enfermedad valvular.⁴⁸

En el estudio de Gorcsan III et al⁴⁹, se vio que el ultrasonido a pie de cama realizado por cardiólogos influenció las decisiones terapéuticas en el 63% de los pacientes, realizándose un cambio en el tratamiento en el 48% de pacientes y un cambio en el enfoque y pruebas diagnósticas a realizarse en un 22%. En este estudio se limitó la duración del ultrasonido a un máximo de 10 minutos y luego de tomar las decisiones pertinentes, se realizó ecocardiografía completa en todos los pacientes para evaluar si la información era concordante con la ecocardiografía a pie de cama. Se encontró que sí coincidían en los hallazgos en un 92-100% de casos. Otro aporte de este estudio es que se observó un beneficio adicional del ultrasonido a pie de cama, que fue el efecto favorable que tuvo en la comunicación e información que se daba a los pacientes.

2.2.5. Ecocardiografía en pediatría

Existen estudios que muestran la utilidad y los beneficios del uso de ecocardiografía por parte de los emergencistas pediátricos. El estudio de Longjohn et al⁵⁰ evaluó la precisión de los emergencistas pediátricos para evaluar función sistólica, presencia o ausencia de efusión pericárdica, evaluación del volumen intravascular comparado con

una evaluación realizada por cardiólogos pediatras. Se vio que hubo concordancia en el 87% de las evaluaciones.

2.2.6. Ecocardiografía en cuidados intensivos neonatal

La ecocardiografía neonatal funcional o dirigida (TnECHO) ha cobrado gran importancia en las UCIN y su uso se ha ido generalizando en los últimos 10 años. Sin la ayuda de la TnECHO, los neonatólogos deben especular acerca de la fisiopatología de lo que ocurre en un recién nacido con compromiso hemodinámico e ir tomando decisiones para tratar a estos pacientes sin tener evidencia de lo que está ocurriendo realmente. Para que la TnECHO realmente cumpla su potencial rol en las UCIN, debe estar disponible las 24 horas del día, todos los días del año.⁵¹

Como hemos visto anteriormente, el uso de la ecocardiografía a pie de cama se ha ido extendiendo a varios ámbitos de la medicina en la población adulta (emergencia, cuidados intensivos, anestesiología, entre otros). Provee información adicional a la evaluación clínica para así ganar un mayor entendimiento de la fisiopatología de lo que ocurre con los pacientes y así poder tomar las decisiones terapéuticas que más convengan o ayuden a los pacientes.

En la mayoría de UCIN, la evaluación de la función cardiovascular y hemodinámica se realiza utilizando parámetros clínicos como son la frecuencia cardíaca, presión arterial (que se puede monitorizar de forma invasiva), y otros parámetros clínicos pobremente validados como el llenado capilar,⁵² además de otras medidas indirectas de perfusión tisular como son el flujo urinario, niveles de lactato séricos, etc. Debemos considerar que los neonatos, y especialmente los recién nacidos pretérmino, tienen una transición a la vida extrauterina con cambios hemodinámicos complejos y dinámicos, con cambios en la resistencia vascular sistémica y pulmonar, con una respuesta variable del miocardio inmaduro, con presencia de shunts intra y extra cardíacos, lo cual hace que la evaluación clínica tenga una visión limitada de los cambios complejos que están ocurriendo en la función cardiovascular de estos pacientes. Esto dificulta la toma de decisiones terapéuticas en esta población.^{4, 52, 53}

En el ámbito de neonatología, existen varias indicaciones para las que la TnECHO puede ser de utilidad, como son la evaluación y manejo del ductus arterioso persistente y del síndrome cardíaco post ligadura de ductus, el manejo del recién nacido con hipotensión y/o compromiso circulatorio, la evaluación y la respuesta al tratamiento de recién nacidos con altos requerimientos de oxígeno (hipertensión pulmonar), entre otros. Hasta el momento no hay suficiente literatura que demuestre que el uso de TnECHO cambie o mejore los resultados en los pacientes, sin embargo muchos neonatólogos al rededor del mundo reconocen ya su valor como una herramienta útil para la evaluación del RN en estado crítico.^{54,55} Hace ya 15 años, en el año 2000 una encuesta realizada en Australia y Nueva Zelandia mostró que el 40% de las UCIN tenía al menos un neonatólogo con experiencia en la realización de TnECHO⁵⁵ En los últimos años, esta proporción se ha incrementado, tal que actualmente aproximadamente dos tercios de las UCIN de estos países tienen personal con experiencia en TnECHO. En Europa y Norte América, el uso de TnECHO también se ha ido generalizando progresivamente.⁵⁶

Ante el creciente uso de la ecocardiografía a pie de cama por parte de los neonatólogos, surge la duda o la preocupación de la posibilidad de error en la obtención e interpretación de imágenes por parte de los neonatólogos, errando el diagnóstico del paciente. Es por ello que es sumamente importante tener guías claras de cuando se debe recurrir a una TnECHO y cuando se necesita una evaluación completa por parte del servicio de cardiología. Siempre que exista una sospecha de cardiopatía congénita, se deberá solicitar una ecocardiografía completa por parte del servicio de cardiología. Luego de descartarse una cardiopatía, se podrá realizar TnECHOs posteriores en el caso de que hubiera alguna alteración hemodinámica (sabiendo ya, que no existe una alteración anatómica). Ha habido cierta reticencia por parte de los cardiólogos pediatras a aceptar que la ecocardiografía pueda ser hecha por otros especialistas. Hay literatura que ha mostrado que existe mayor posibilidad de error cuando la ecocardiografía no es realizada por un cardiólogo. Sin embargo, debemos considerar que es diferente que una ecocardiografía sea realizada por un radiólogo (por ejemplo), sin un entendimiento claro de la clínica y la patología del recién nacido, en contraposición con una ecocardiografía realizada por el médico

tratante, quien está manejando al paciente y conoce la clínica de éste y está altamente entrenado en el diagnóstico clínico precoz de una cardiopatía congénita.⁵¹

Antiguamente, la ecocardiografía en los neonatos era realizada únicamente por los cardiólogos pediatras, sin embargo, si consideramos los múltiples cambios hemodinámicos que se dan en la etapa neonatal, el tener una única ecocardiografía es como tener una única foto de un determinado momento, que no nos puede indicar que es lo que pasa en otro momento. Recordemos que los cambios son dinámicos, por lo cual es sumamente importante contar con la posibilidad de realizar una evaluación por TnECHO en el momento que se precise, es decir tenerla disponible en todo momento para poder evaluar longitudinalmente la función miocárdica, el flujo pulmonar y sistémico, los cortocircuitos intra y extra cardiacos, la perfusión de los órganos, entre otras cosas. La TnECHO nos permite tener información a tiempo real y evaluar también los cambios cardiovasculares que ocurren tras haber aplicado una medida terapéutica. Permite así que podamos realizar un tratamiento dirigido y acorde con los cambios que se van dando de manera dinámica en nuestros pacientes.

57

Existe ya alguna evidencia en la literatura de que el uso de la TnECHO en la UCIN puede ayudar en el manejo y tratamiento de los recién nacidos y potencialmente mejorar los resultados de los pacientes ^{9, 10}.

2.2.6.a. Ecocardiografía neonatal: ventanas y vistas

Para comprender la utilidad de esta herramienta en nuestra práctica clínica diaria, debemos conocer las ventanas y vistas más utilizadas para poder realizar el estudio. En esta sección se detalla la obtención de imágenes y vistas ecocardiográficas, y como posicionar el transductor para obtenerlas .

La figura 1 a continuación muestra las ventanas básicas y las vistas más importantes para obtener las imágenes y realizar el estudio funcional en nuestros pacientes.

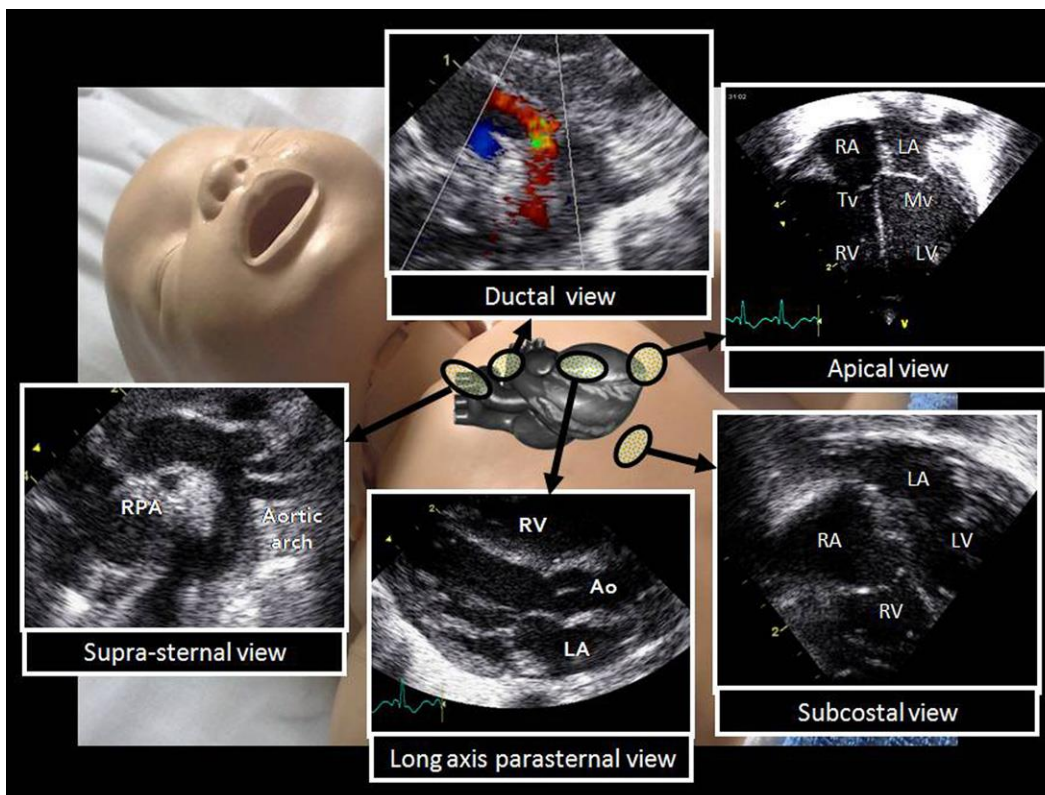


Figura 1. Ventanas y vistas comunes en ecocardiografía. LA: aurícula izquierda, RA: aurícula derecha, MV: válvula mitral, TV: válvula tricuspídea, LV: ventrículo izquierdo, RV: ventrículo derecho, Ao: aorta, RPA: arteria pulmonar derecha.

La evaluación ecocardiográfica del recién nacido tiene cierto grado de dificultad por el tamaño de los pacientes. La interpretación de la data obtenida depende enteramente de la calidad de las imágenes. Para ello es ideal utilizar transductores de entre 6 MHz y 12 MHz.

La TnECHO incluye la evaluación del corazón utilizando las imágenes en dos dimensiones (2D), Doppler pulsado (PWD), Doppler continuo (CWD) y modo M. Es sumamente importante obtener imágenes de calidad, sobre todo cuando se trata de imágenes Doppler para evaluar el flujo sanguíneo. En el caso de neonatos pretérmino, la calidad de las imágenes puede verse comprometida en casos de hiperinsuflación pulmonar o en casos como por ejemplo displasia broncopulmonar. Además, los recién nacidos prematuros podrían descompensarse ante manipulación excesiva o compresión torácica excesiva al posicionar el transductor. Se debe intentar limitar la

duración de estos estudios intentando obtener toda la información necesaria para evaluar al paciente, siempre y cuando éste se mantenga estable.

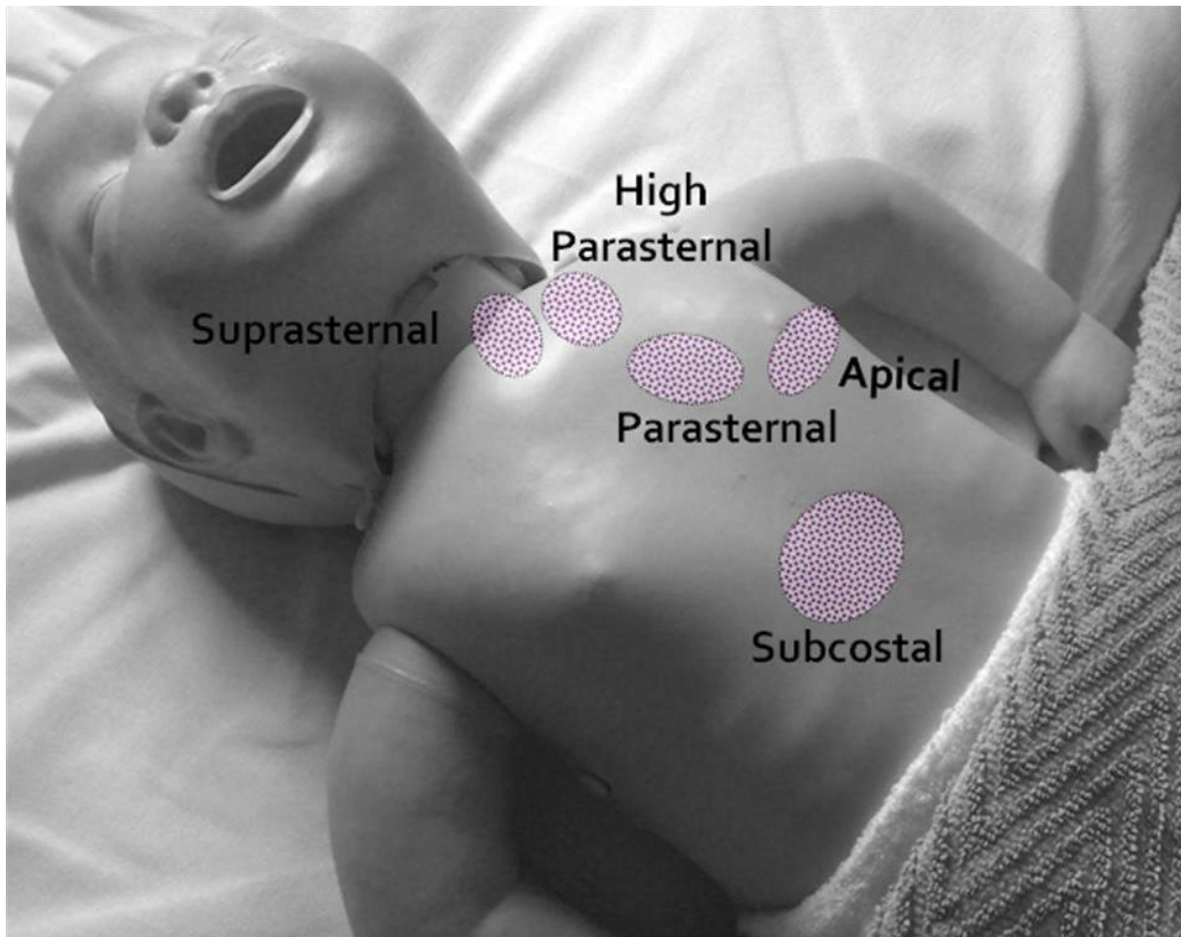


Figura 2. Ventanas ecocardiográficas neonatales

La figura 2 muestra la localización de las diferentes ventanas ecocardiográficas que pasamos a detallar.

2.2.6.a. i. Ventana apical

Esta vista es el punto de partida para iniciar la realización de una ecocardiografía funcional neonatal. La vista muestra las cuatro cámaras cardíacas y se utiliza para evaluar la válvula mitral y tricuspídea con doppler y para evaluar los tractos de salida del ventrículo izquierdo y derecho (aorta y arteria pulmonar respectivamente), que

se pueden utilizar para calcular el gasto cardiaco izquierdo y derecho utilizando la evaluación por doppler.

Es importante recordar que aunque se ven los septos interauricular e interventricular, no es la imagen ideal para evaluarlos.

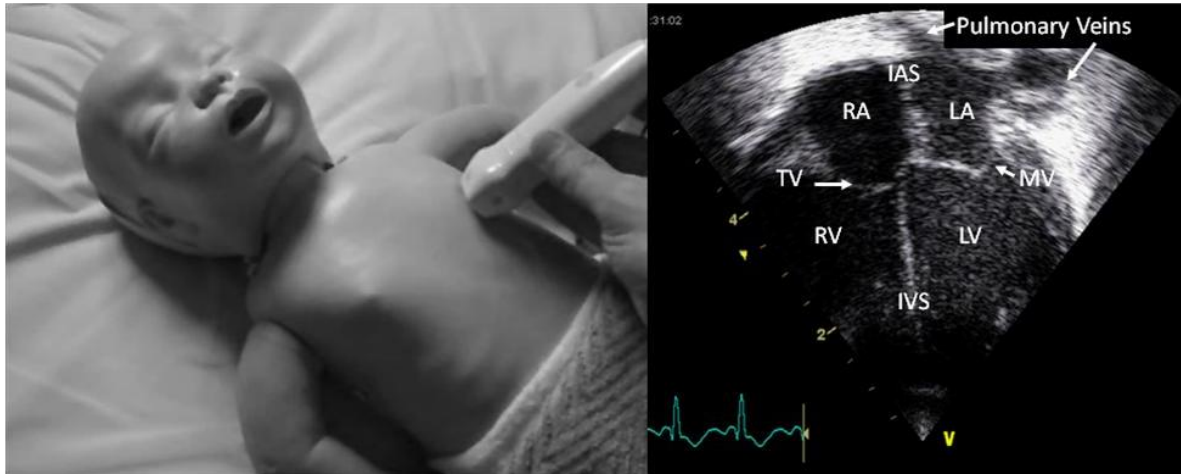
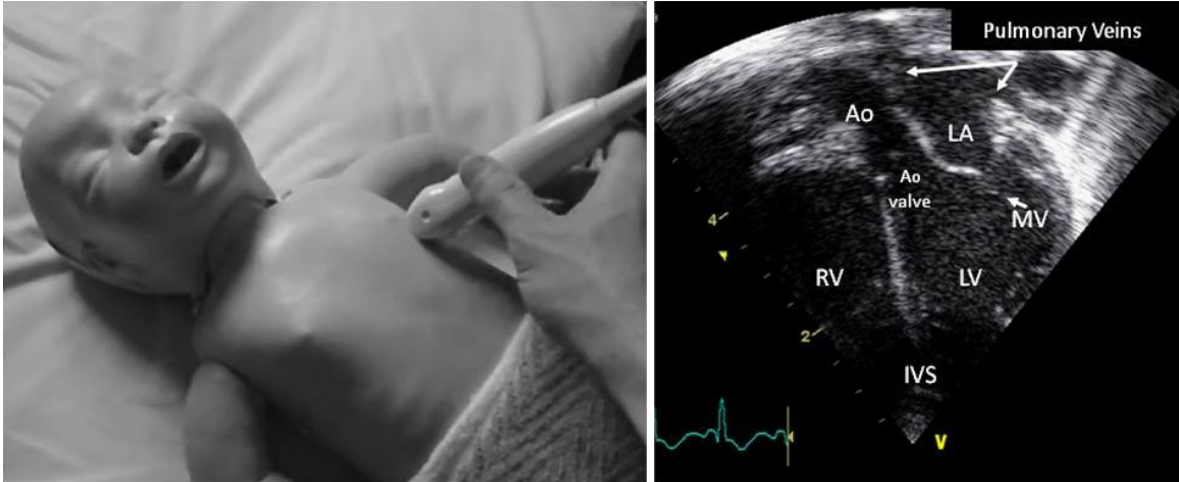


Figura 3. Vista apical de 4 cámaras: posición del transductor e imagen

Para obtener la imagen apical de cuatro cámaras, el transductor se coloca a nivel del ápex en un ángulo que apunta hacia el hombro derecho y la cuña del transductor deberá orientarse hacia el hombro izquierdo.

La figura 4 muestra las vistas que se pueden utilizar para la evaluación de los tractos de salida ventriculares, para evaluar estenosis e insuficiencia aórticas o pulmonares o adquirir estudios doppler para medir las integrales de velocidad tiempo (VTI) y calcular el gasto cardiaco izquierdo y derecho. Además también es útil para evaluar la porción membranosa del septo interventricular.

A.



B.

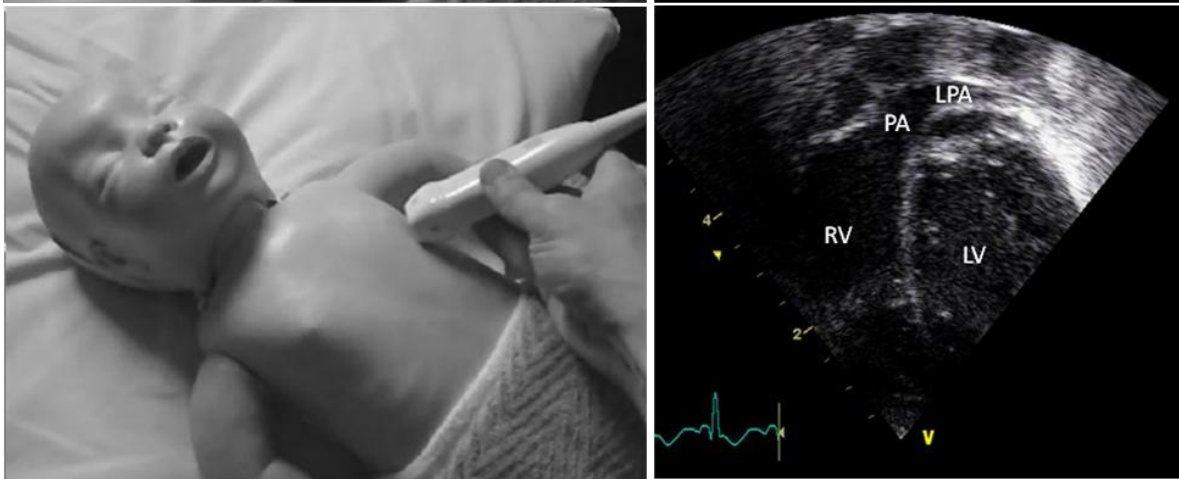


Figura 4: Ventana apical que muestra la vista de 5 cámaras mostrando la aorta en A y la arteria pulmonar en B.

2.2.6.a.ii. Ventana paraesternal eje largo

La vista paraesternal eje largo es una de las más utilizadas en la UCI, pues nos da mucha información. Se puede evaluar el cociente aurícula izquierda/aorta, como parte de la evaluación del ductus arterioso, como veremos a continuación; se puede evaluar la fracción de acortamiento y fracción de eyección, como parte del estudio de la contractilidad cardíaca, el diámetro del anillo aórtico y pulmonar, para la evaluación del gasto cardíaco izquierdo y derecho respectivamente, la presencia de regurgitación mitral, regurgitación tricuspídea, la cual se utiliza para calcular la presión sistólica del ventrículo derecho, además de poder evaluar también el grosor de las paredes

ventriculares y el septum interventricular. Es la mejor ventana para poder evaluar si existen defectos en el septum interventricular y el origen de las grandes arterias.

En la figura 5 A vemos como el transductor se coloca perpendicular al tórax a la izquierda del tercio inferior del esternón, con la cuña del transductor apuntando al hombro derecho para poder evaluar las estructuras del corazón izquierdo. Si orientamos el ultrasonido hacia el hombro izquierdo (angulando el transductor contrario al hombro izquierdo), podremos evaluar la arteria pulmonar (figura 5 B). Esta vista es ideal para evaluar la válvula pulmonar. Luego podemos obtener una vista de la válvula tricúspide al orientar el ultrasonido hacia el flanco derecho (angulando el transductor hacia el hombro izquierdo). Para comprender los movimientos del transductor que debemos realizar para obtener las imágenes, debemos recordar que el ventrículo y aurícula derecha envuelven al ventrículo izquierdo.

Si angulamos el transductor hacia el hombro izquierdo, orientando el ultrasonido hacia el flanco derecho, podremos visualizar las estructuras del corazón derecho (aurícula, ventrículo, válvula tricúspide), como se aprecia en la figura 5C.

2.2.6.a.iii. Ventana paraesternal eje corto

Para obtener esta vista, se utiliza la misma posición del transductor que en la vista anterior pero se rota el transductor 90° en sentido horario, de manera que la cuña del transductor se encuentra orientada hacia el hombro izquierdo. Es así como vemos la aorta central, con las estructuras del corazón derecho alrededor (figura 6A).

Esta vista se utiliza para evaluar la válvula aórtica, las comunicaciones interventriculares (CIV) perimembranas arterias coronarias y el tracto de entrada y salida del ventrículo derecho. Si orientamos el ultrasonido hacia el flanco izquierdo (angulando el transductor hacia el hombro derecho) veremos las estructuras del ventrículo izquierdo en eje corto, viendo la válvula mitral, comúnmente descrita como apariencia en boca de pescado (figura 6B), los músculos papilares, habitualmente situados a las 3 y 7 horas del reloj (figura 6C) y luego podemos ver el ápex. Este barrido se utiliza para reevaluar la presencia de CIV y evaluar también la movilidad del septo interventricular.



Figura 5. Vista paraesternal eje largo. LV: ventrículo izquierdo, RV ventrículo derecho, IVS septum interventricular, Ao aorta, AoV válvula aórtica, LA: aurícula izquierda, MV válvula mitral, PA arteria pulmonar, TV válvula tricúspide, IVC vena cava inferior.

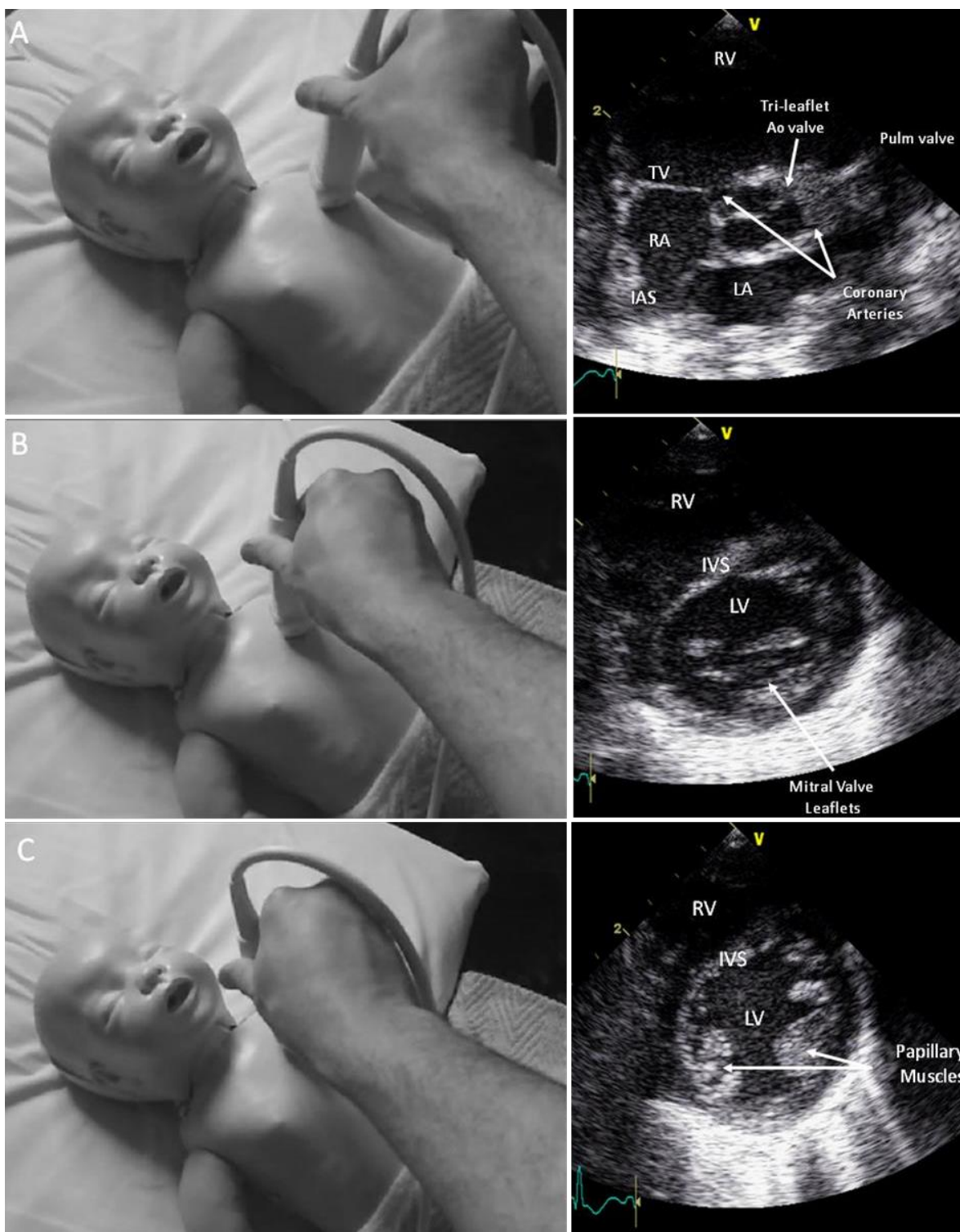


Figura 6. Vista paraesternal eje corto. IAS: septum interatrial

2.2.6.a.iv. Ventana paraesternal alta

La posición del transductor se cambia al tercio superior del borde izquierdo del esternón y la cuña del transductor debe estar hacia la izquierda del paciente en posición transversal. Así se puede evaluar la arteria pulmonar y sus dos ramas. Además, la aorta ascendente se puede ver a la derecha de la arteria pulmonar, seguida de la vena cava superior (figura 7). Esta vista se utiliza para evaluar el tamaño de las ramas de la arteria pulmonar y la presencia de estenosis de alguna de éstas, que podría imitar la presencia de un ductus. En el caso de haber un ductus arterioso persistente, se podría también ver un flujo rojo en el doppler que indicaría un cortocircuito de izquierda a derecha.

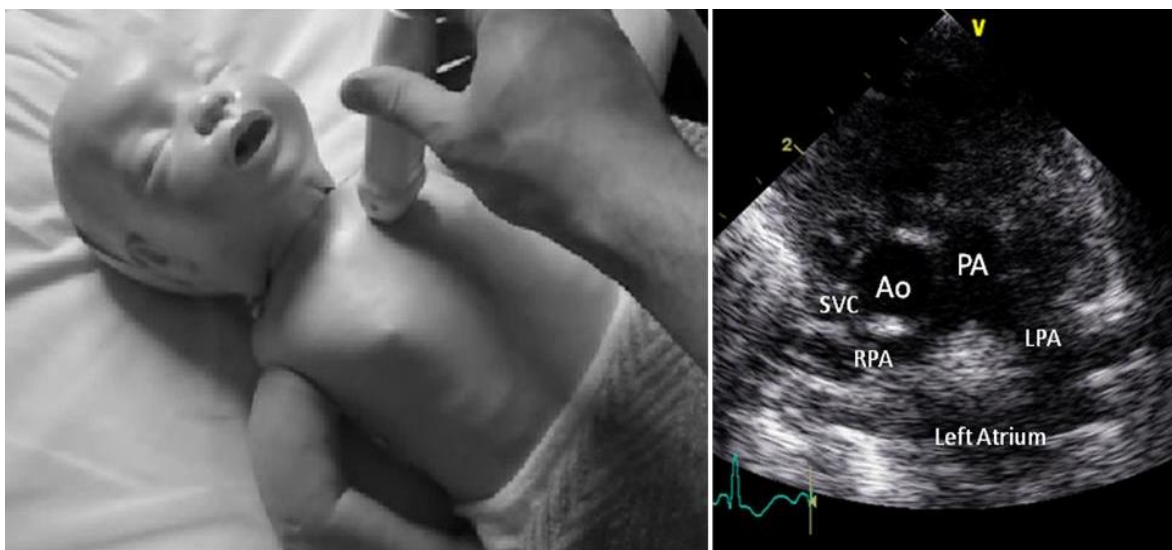


Figura 7. Ventana paraesternal alta para evaluar la arteria pulmonar y sus ramas.

2.2.6.a.v. Ventana ductal

La posición del transductor es sagital a lo largo del borde izquierdo del esternón con la cuña orientada hacia la cabeza del paciente. Se debe angular el transductor de lado a lado para ver el ductus (si es que estuviera presente). Si angulamos el transductor excesivamente hacia la izquierda, podremos ver la aorta ascendente y parte del arco aórtico. Si no hubiera ductus arterioso persistente, veríamos únicamente la arteria pulmonar por encima de la aorta descendente como se ve en la figura 8.

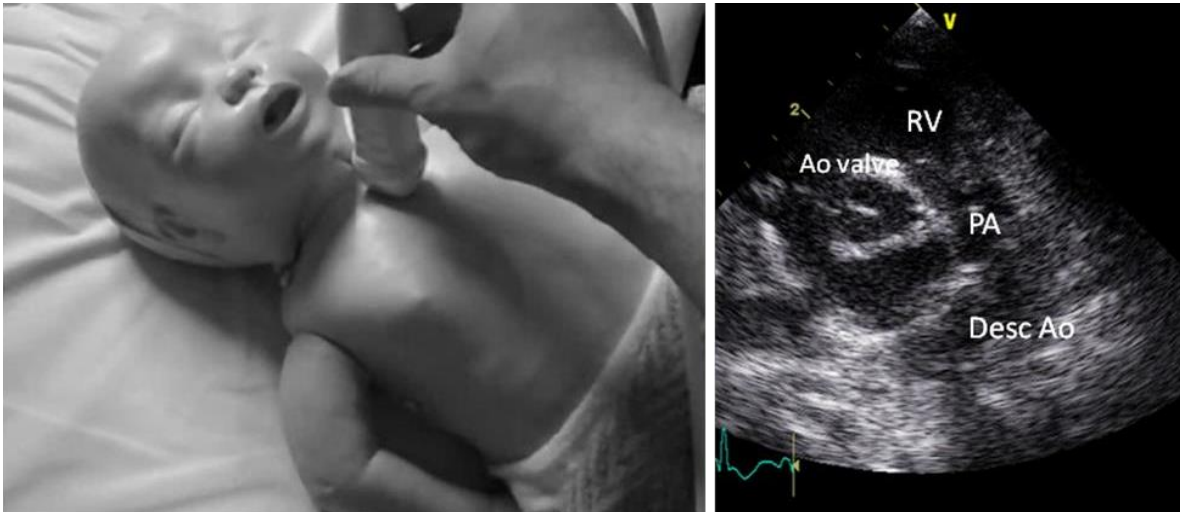


Figura 8. Ventana ductal

2.2.6.a.vi. Ventana para arco aórtico

El arco se visualiza manteniendo la ventana ductal descrita anteriormente, y movilizándolo ligeramente a la derecha del esternón y rotándolo ligeramente en el sentido de las agujas del reloj. Se debe orientar el ultrasonido hacia la izquierda (angulando el transductor hacia la derecha).

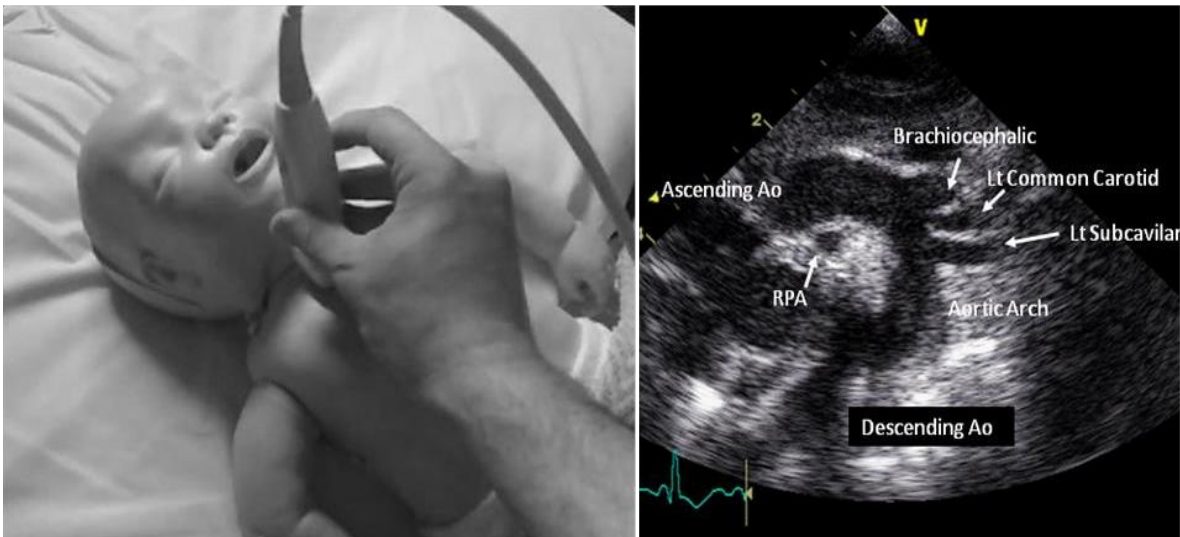


Figura 9. Ventana para arco aórtico

2.2.6.a.vii. Ventana supraesternal

Esta ventana se utiliza para evaluar el drenaje de las venas pulmonares a la aurícula izquierda. Es una vista muy difícil de obtener. Siempre que exista sospecha de drenaje anómalo se deberá solicitar una interconsulta a cardiología pediátrica. Además la postura para adquirir esta vista causa algo de discomfort al paciente. El transductor se coloca en la zona supraesternal, de manera perpendicular al pecho, con la cuña dirigida hacia la izquierda. El ultrasonido se orienta hacia la parte anterior del pecho del paciente.

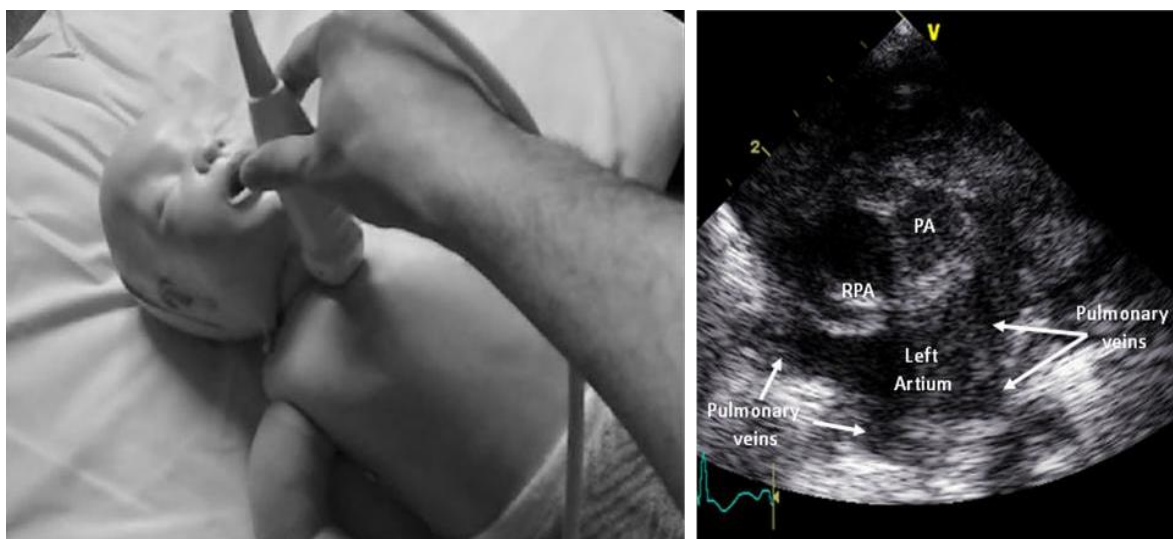


Figura 10. Ventana supraesternal

2.2.6.a.viii. Ventana subcostal

Esta vista se suele dejar para el final de la evaluación ya que causa cierto discomfort en el paciente. Se utiliza para evaluar las aurículas, ver el flujo doppler de la vena cava superior (VCS), evaluar la aorta abdominal, tronco celiaco y arteria mesentérica superior y la VCI. Para evaluar las aurículas, el transductor se coloca debajo del apéndice xifoides de forma axial con la cuña orientada hacia la izquierda del paciente. El ultrasonido se orienta hacia la pared anterior del tórax (figura11). Si angulamos más el ultrasonido de manera anterior, se verá el tracto de salida del ventrículo

izquierdo y el tracto de salida del ventrículo derecho (figura 12). Si colocamos el transductor nuevamente en posición axial, podremos ver el hígado y el corte de la aorta y la VCI (figura 13 A). Para poder evaluar la aorta abdominal, el transductor se coloca perpendicular al tórax de manera sagital con la cuña orientada hacia la cabeza (figura 13 B). Si angulamos el ultrasonido hacia la derecha obtendremos una vista de la VCI (figura 13C).

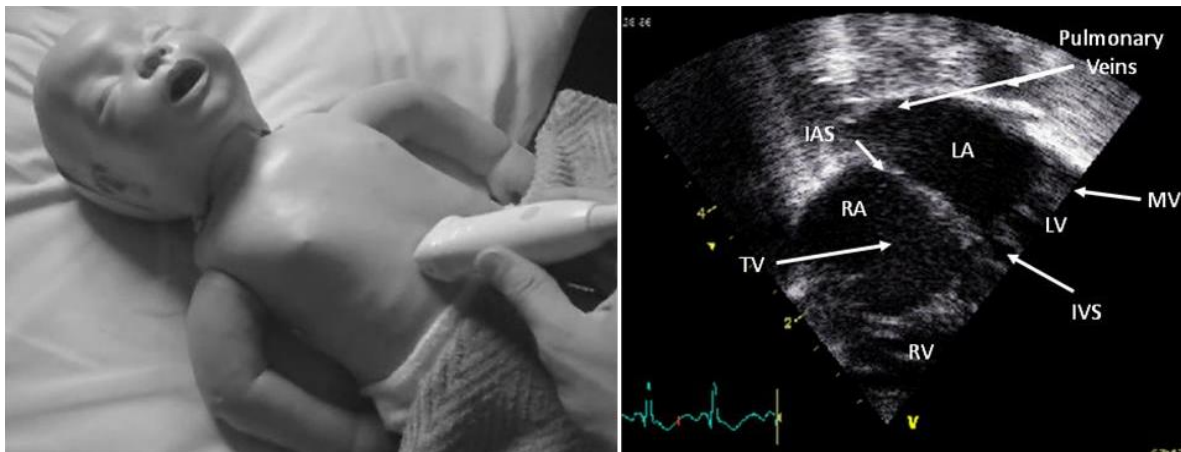


Figura 11. Vista subcostal que muestra las aurículas

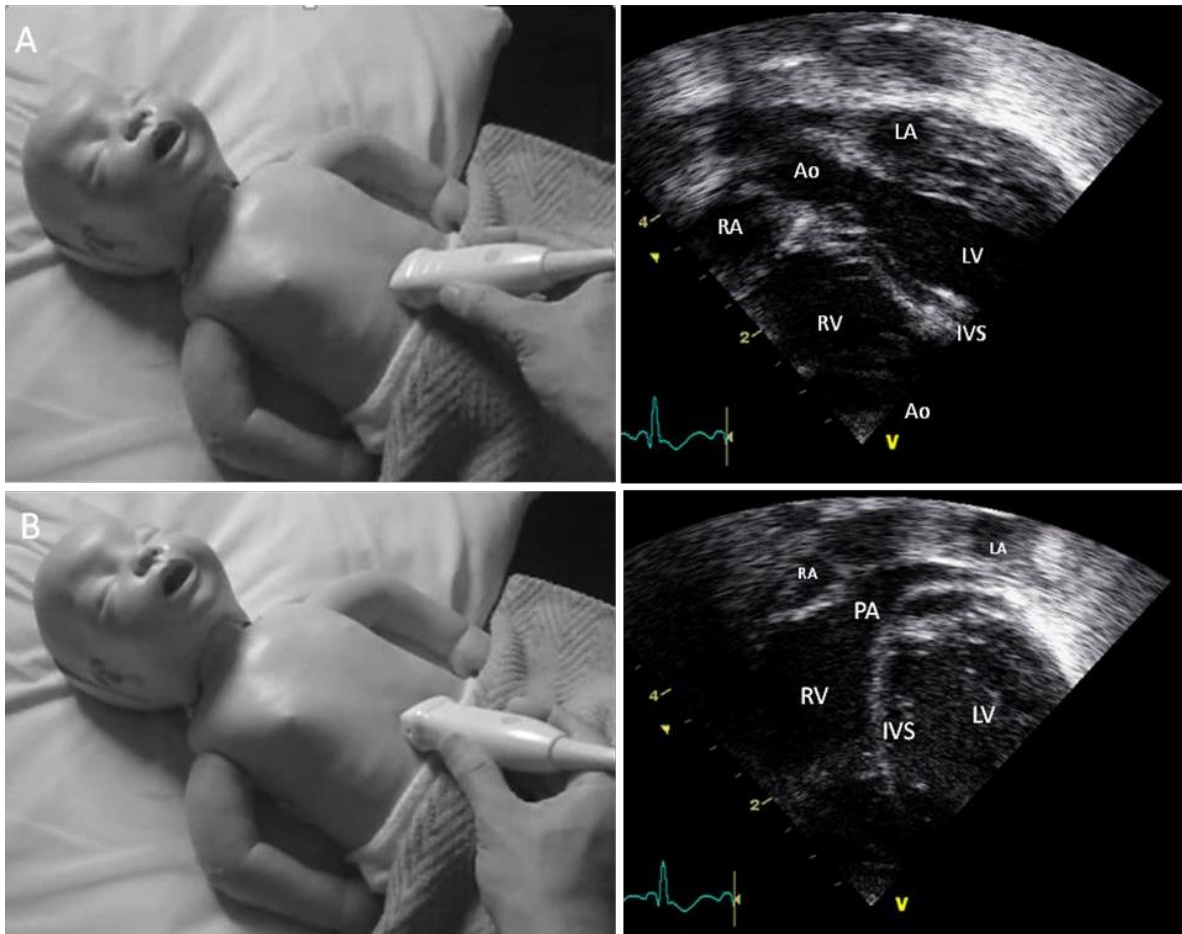


Figura 12. Vista subcostal para evaluar aorta (A) y arteria pulmonar (B)

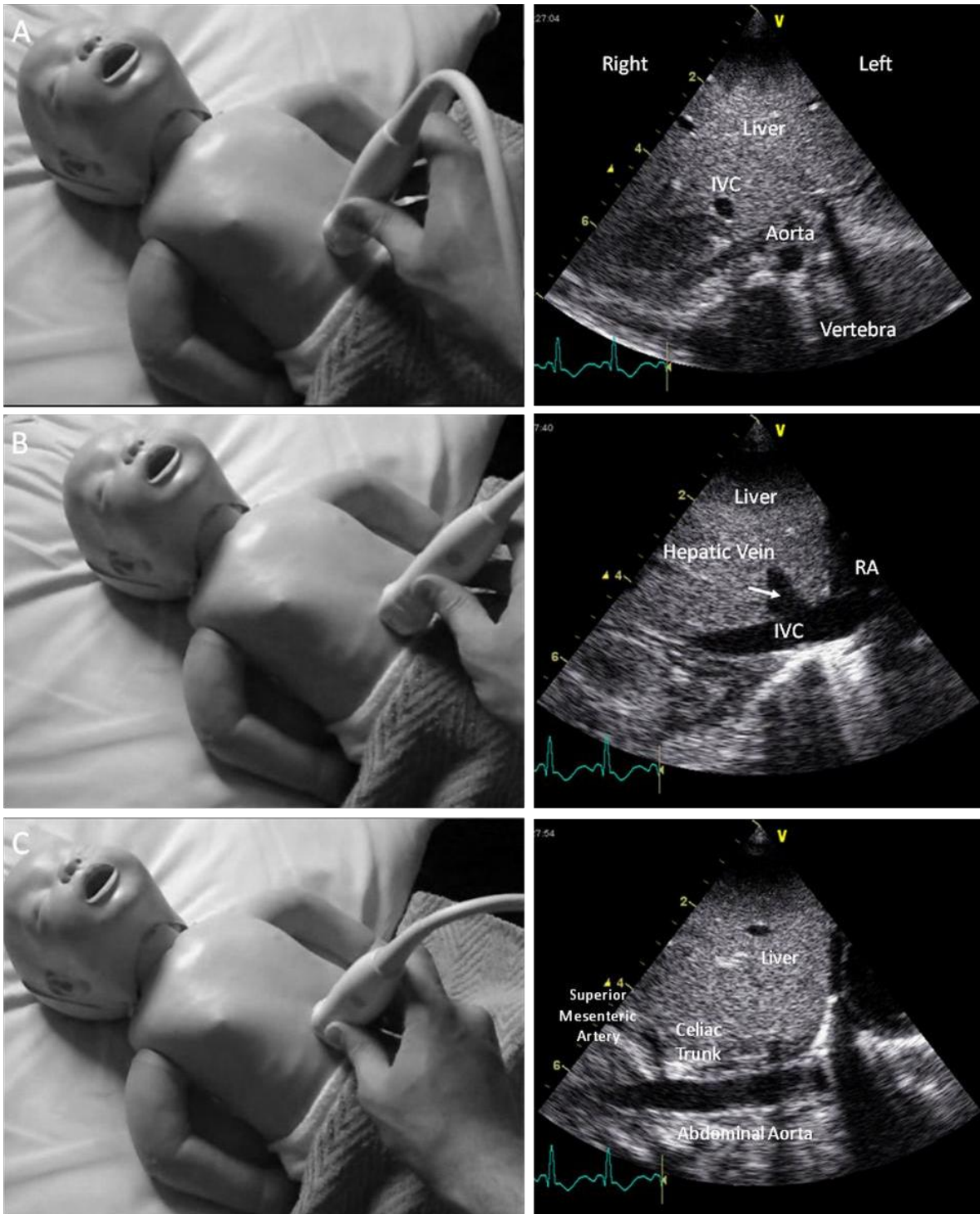


Figura 13. Vista subcostal para evaluar aorta, vena cava inferior y aorta abdominal y arteria mesentérica superior.

2.2.6.b. Ecocardiografía para la evaluación del ductus arterioso persistente

El ductus arterioso persistente (DAP) sigue siendo uno de los problemas cardiovasculares más comunes en los recién nacidos y está asociado a alta morbilidad y mortalidad. Aproximadamente el 30% de RN menores de 30 semanas pueden tener un DAP, el 60% de aquellos menores de 28 semanas, llegando hasta un 80% de los RN pretérmino menores de 750g.^{58, 59, 60.}

Con cierta frecuencia, el DAP requiere cierre farmacológico o quirúrgico, pero el enfoque y la manera de abordar este problema es muy variable. El objetivo al tratar un ductus es prevenir las secuelas a corto y largo plazo secundarias al ductus; prevenir la descompensación respiratoria (secundaria a un shunt de alto volumen), displasia broncopulmonar (DBP), hemorragia pulmonar, la hemorragia intraventricular (HIV), enterocolitis necrotizante (NEC) y la muerte.^{59, 61} El médico se queda entonces en el dilema de decidir en qué casos valdrá la pena iniciar un tratamiento, sabiendo que las intervenciones terapéuticas tienen también complicaciones. Poder determinar si un DAP es patológico es de suma importancia para poder así determinar a qué pacientes se debe tratar. Existen signos clínicos ampliamente conocidos para el diagnóstico del DAP, como son la auscultación de un soplo cardíaco, pulsos saltones, presión arterial diferencial amplia, entre otros; sin embargo, varios estudios han mostrado que el examen físico no es adecuado para determinar cuales DAP son realmente hemodinámicamente significativos.^{62, 63, 64} La dificultad para diferenciar entre un DAP hemodinámicamente significativo (DAP-HS) o patológico y un DAP inocente, llevan a que la evidencia científica no sea contundente. Por lo tanto, esto lleva a incertidumbre y a un debate constante acerca de cuales ductus deben ser tratados y cuales no.

Las consecuencias clínicas de un DAP-HS están en relación con el volumen del shunt y la habilidad de las circulaciones pulmonares y sistémicas para compensar según los cambios. Cuando existe un shunt izquierda-derecha de alto volumen, ocurrirá una sobrecirculación pulmonar que llevará a mayor distrés respiratorio, edema pulmonar, hemorragia pulmonar, y seguidamente elevado riesgo de displasia broncopulmonar, dependencia del ventilador e insuficiencia cardíaca. Además, los RN de extremo bajo peso tienen menor capacidad para compensar los cambios que ocurren en relación al

ductus y tienen más posibilidad de llegar a una insuficiencia del ventrículo izquierdo que a su vez puede llevar a un bajo gasto cardiaco. Por otro lado, se dará una hipoperfusión sistémica que llevará a una hipotensión, reducción del flujo sanguíneo a los órganos como intestinos, riñones, cerebro e hipoperfusión de las arterias coronarias. Todo ello podría llevar a NEC, insuficiencia renal, HIV, leucomalacia periventricular (LPV), disfunción miocárdica, entre otros. ¿Cómo podemos entonces determinar que DAP son HS? y ¿Cuáles deben ser tratados?

Tradicionalmente la decisión para tratar un DAP se ha basado en el diámetro del ductus. Sin embargo, esta sola medición no nos podrá dar la información suficiente para determinar si este DAP es HS o no. Es probable por ello que la evidencia científica no sea clara en cuanto a cuando tratar un DAP, posiblemente porque no se haya hecho los estudios adecuados, al no haber elegido a la población a tratar reconociendo si el ductus era patológico y ameritaba tratamiento o no.

El tratamiento médico del DAP con indometacina se inició en 1976.^{65, 66} Desde entonces la indometacina ha sido la primera línea de tratamiento. Posteriormente se ha utilizado el ibuprofeno y la ligadura quirúrgica. Recientemente, en el año 2011, Hammerman et al reportan el uso de paracetamol para el cierre del ductus arterioso.⁶⁷ Posterior a ello han surgido algunos estudios que han mostrado la seguridad y utilidad de este fármaco para el cierre del DAP.^{68, 69}

Existen argumentos en contra del tratamiento del DAP, entre los cuales están los efectos adversos secundarios al uso de AINEs. Se sabe que los AINEs no sólo cierran el DAP sino que también constriñe la vasculatura que irriga el corazón, cerebro, riñones e intestinos. La indometacina ha sido implicada como un factor contribuyente a NEC, perforación intestinal espontánea. Sharma et al⁷⁰ mostraron que la exposición postnatal a indometacina incrementaba la posibilidad de perforación intestinal espontánea (odds ratio de 4.17 con IC de 1.24-14.08) aunque disminuía la posibilidad de NEC (OR 0.65 con IC de 0.43-0.97).

Se ha visto también alteraciones transitorias en la perfusión cerebral⁶¹ durante la administración de indometacina, así como una disminución transitoria en el flujo coronario.⁷¹ Además también existen cambios en el flujo renal⁷², aunque se sabe que el fallo renal durante el tratamiento con AINEs es reversible.

Otro argumento en contra del tratamiento del DAP es que existe un cierre espontáneo en un gran porcentaje de ellos. Koehne et al ⁷³ describen un cierre espontáneo en más del 44% de neonatos menores de 32 semanas entre el tercer y séptimo día de vida. Van Overmeire⁷⁴ reporta un cierre espontáneo de un 80% al día 7 de vida en RN de 26 a 31 semanas de edad gestacional. En los estudios aleatorizados de AINEs vs placebo, se ha visto que aproximadamente el 50% de pacientes en el brazo de placebo tuvieron un cierre espontáneo del ductus o nunca desarrollaron un DAP hemodinámicamente significativo.^{75, 76, 77}

De ahí que surja la duda de si se debe tratar, sabiendo que se expone a los pacientes a los riesgos que implica el tratamiento y teniendo en cuenta que casi la mitad de ellos cerraría espontáneamente.

Otro de los argumentos para no tratar el DAP es que no existe evidencia de que el tratamiento con AINEs disminuya la incidencia de DBP en RN de extremo bajo peso. Hay que considerar que el desarrollo de la DBP es multifactorial, por lo cual es poco probable que una sola intervención terapéutica, como sería el tratamiento del DAP, disminuya radicalmente la incidencia de esta patología.

En cuanto a la ligadura quirúrgica del DAP, también ha habido estudios que han mostrado una serie de complicaciones como son la parálisis de cuerda vocal izquierda, quilotórax, entre otros. Hubo estudios que mostraron además un peor neurodesarrollo en aquellos niños sometidos a ligadura de DAP^{78, 79} Podría ser también que hubiera factores confusores, y que se tratara de niños más graves.

En general, los estudios hasta ahora, no han podido demostrar contundentemente que la intervención terapéutica tenga ventajas a largo plazo.⁸⁰

Existen también muchos argumentos a favor del tratamiento del DAP. Si pensamos en el impacto fisiológico que puede tener un DAP según el flujo transductal que exista, encontraremos que el DAP podría estar asociado a una serie de morbilidades neonatales.⁵⁹ Hay varios estudios en la literatura que han mostrado un flujo cerebral disminuido en los RN pretérmino con DAP⁷². Estudios ecográficos muestran que el doppler a nivel del flujo cerebral se ve afectado negativamente durante la diástole ante la presencia de un DAP. Se cree por ello que el DAP podría ser uno de los factores relacionados a la aparición de HIV, aunque esto no está comprobado.⁶¹ El shunt

izquierda-derecha que ocurre a través del DAP puede también causar lo que comúnmente se conoce como “robo diastólico” y poner así en riesgo la irrigación de la mucosa intestinal por ejemplo ⁸¹, lo cual podría contribuir a la aparición de NEC.

Estudios epidemiológicos como el de Marshall et al ⁸² mostraron que en RN menores de 1500g, los niños con DAP tenían 1.9 más posibilidades de desarrollar DBP que aquellos sin DAP. En el estudio de Noori et al ⁸³ y Brooks et al ⁸⁴ se encuentra una asociación entre la presencia de DAP y un incremento en la mortalidad. Aunque existen varios estudios que sugieren una relación entre el tratamiento farmacológico del DAP y la aparición de NEC, hay algunos meta análisis que muestran que la indometacina (profiláctica y como tratamiento) no incrementa el riesgo de NEC comparado con pacientes no tratados.^{80, 85} En el estudio de Kluckow et al ⁸⁶ se aleatorizó a 92 RN menores de 29 semanas con ductus grandes antes de las 12 horas de vida. 44 de ellos recibieron tratamiento con indometacina vs 48 que recibieron tratamiento con placebo. Se vio que no hubo diferencia en el resultado primario que era muerte y/o hemorragia intraventricular grado 2 o más de acuerdo a la clasificación de Papile o leucomalacia quística periventricular. Sin embargo se vio que los niños que recibieron indometacina tuvieron menos hemorragia pulmonar y tuvieron una tendencia a tener menos hemorragia intraventricular o periventricular. El estudio tuvo que terminarse antes de tiempo por falta del medicamento en estudio, lo que pudo haber influido en que no hubiera diferencias en el resultado primario (no hubo un n suficiente).

Es probable que esta variabilidad de la evidencia científica se deba a que el grupo de pacientes seleccionado no sea homogéneo entre los diferentes estudios. Es así que surge la necesidad de identificar a aquellos DAP hemodinámicamente significativos para poder así racionalizar el tratamiento. Para ello, la TnECHO resulta muy útil. Es muy importante determinar la magnitud del shunt transductal, que no solamente depende del tamaño del DAP (como se hacía antiguamente) sino también de las resistencias vasculares sistémicas y pulmonares y la habilidad compensatoria del miocardio. No es posible evaluar el volumen del shunt transductal directamente por medio de ecocardiografía, sin embargo se puede evaluar indirectamente a través de marcadores de sobrecirculación pulmonar y flujo sistémico.

La determinación del DAP –HS se basa en los siguientes parámetros:

- Tamaño del ductus: Un tamaño mayor a 1.5mm es predictivo de un DAP que requerirá intervención terapéutica. En la figura 14 se aprecia una imagen del DAP que conecta la arteria pulmonar con la aorta descendente.
- Patrón de flujo transductal: Un flujo continuo de alta velocidad de izquierda-derecha (DAP restrictivo) es predictivo de un cierre funcional inminente, mientras que un flujo de baja velocidad pulsátil (no restrictivo) es más probable que sea significativo.⁸⁷ En la figura 15 B se aprecia el doppler color a nivel del DAP que muestra un flujo de izquierda a derecha. Recordemos que cuando realizamos un doppler color, el color rojo indica que el flujo se dirige hacia el transductor.
- Efectos en la perfusión sistémica: Se debe evaluar el flujo de las arterias mesentéricas, cerebrales, renales por doppler. La ausencia de flujo o un flujo inverso en diástole es patognomónico del DAP-HS y es un marcador indirecto de un estado de hipoperfusión sistémica. Un flujo inverso del 30-50% en diástole sería moderado y más del 50% sería considerado una inversión de flujo severo, que indicaría una mayor magnitud del volumen del shunt.⁸⁸ El fenómeno de “robo diastólico” fue descrito por Cassell⁸⁹ hace más de 40 años. Debemos recordar que los efectos del ductus no se restringen únicamente a las arterias que se originan desde la aorta descendente sino también pueden afectar las arterias preductales como la arteria cerebral anterior.
- Signos de sobrecarga de volumen, como son el índice aurícula izquierda/aorta (AI/Ao) o el tamaño del ventrículo izquierdo son indicadores indirectos de sobrecirculación pulmonar. El AI/Ao fue descrito inicialmente por Silverman et al en 1974⁹⁰ pero es un marcador con poca sensibilidad y especificidad. Debemos considerar que en aquellos casos de comunicación interauricular (CIA) grande (mayor de 3mm) puede haber una confusión que nos lleve a sobreestimar la magnitud del shunt transductal.⁹¹ Otro signo de sobrecirculación pulmonar sería el flujo en el corazón izquierdo. En RN con un DAP-HS, hay un incremento en el flujo

transmitral pasivo secundario al incremento en la presión en la aurícula izquierda, lo que lleva a una pseudonormalización del cociente E/A mayor de 1.0 (semejante al patrón de un RN a término).^{92,93,94} En la figura 16 se aprecia la relación AI/Ao. En el panel B se aprecia una aurícula izquierda y un ventrículo izquierdo con sobrecarga de volumen secundarias a un DAP.

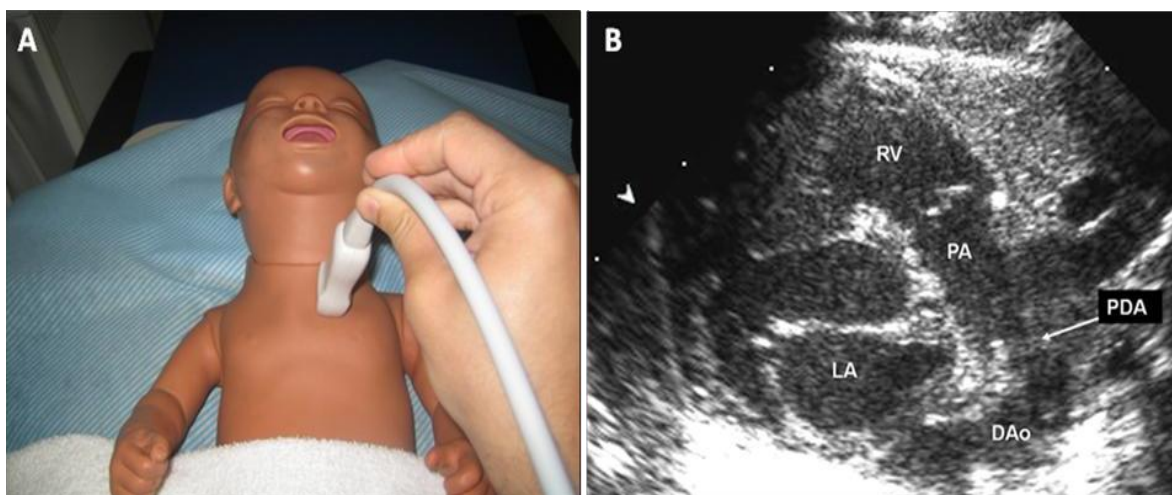


Figura 14. Ventana paraesternal alta para visualizar DAP.

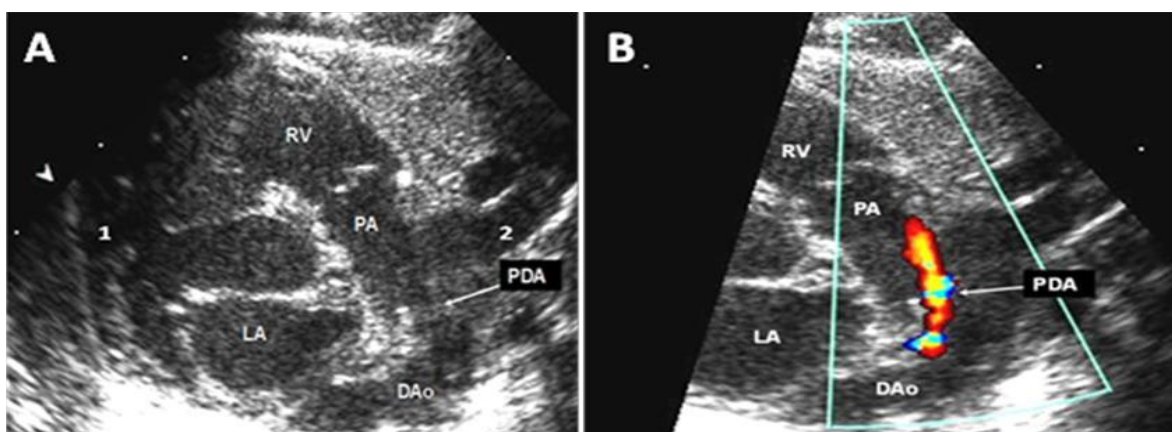


Figura 15. A. Vista del DAP en un RN pretérmino de 26 semanas de EG. El diámetro fue de 1.8mm. B. Doppler color que muestra el flujo del DAP que va de izquierda a derecha.

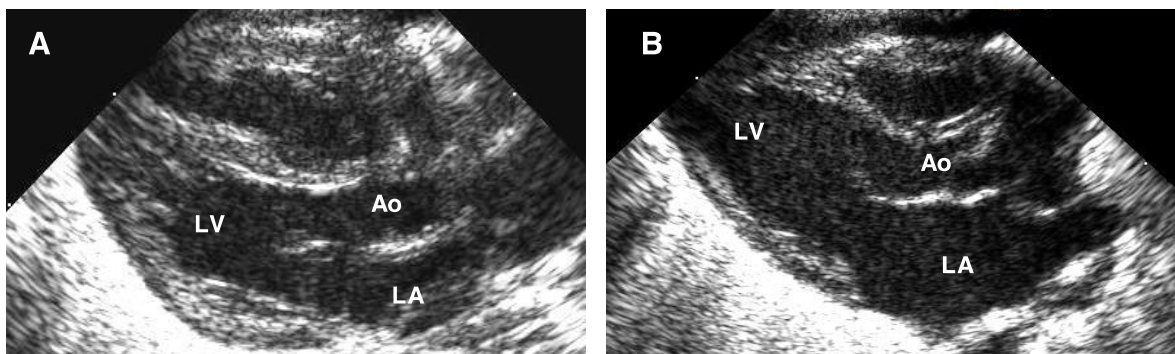


Figura 16. Eje paraesternal largo para medir el cociente aurícula izquierda: aorta (AI:Ao). A. Muestra un AI:Ao normal. B. AI:Ao alto.

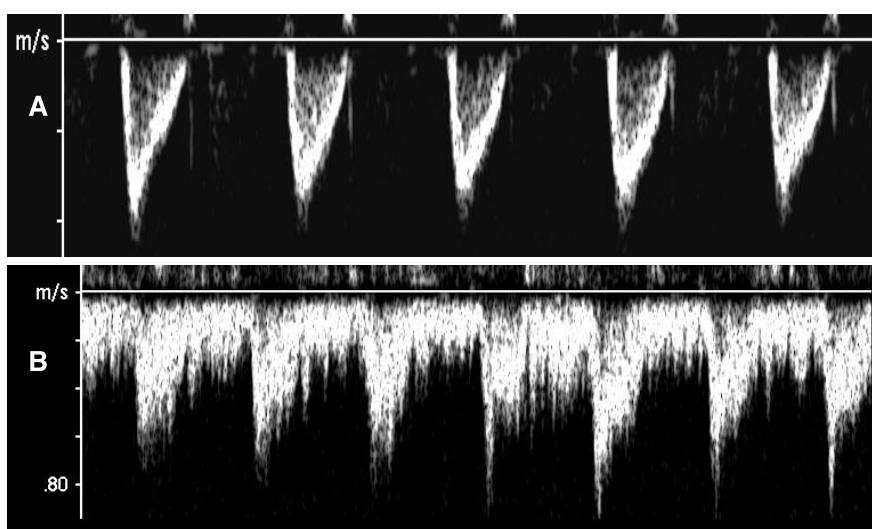


Figura 17. Flujo en arteria pulmonar. A. Muestra un flujo normal en la arteria pulmonar izquierda. En ausencia de un DAP, no hay flujo en la fase diastólica. B. Flujo turbulento con una velocidad al final de la diástole significativa, signo de un DAP.

Para poder evaluar el DAP y monitorizar su evolución, es preciso hacer ecocardiografías seriadas, motivo por el cual resulta útil y lógico entrenar a neonatólogos para que realicen la prueba a pie de cama. El impacto de la introducción de TnECHO aún no está claro, pero ya hay algunos estudios que sugieren que el uso de TnECHO podría mejorar los resultados de los pacientes. La ecocardiografía seriada permitirá una identificación más temprana de un DAP-HS, antes incluso de que aparezcan los síntomas clásicos.

En el estudio de O'Rourke et al ¹⁰ el uso de ecocardiografía seriada en RN menores de 1500g resultó en una identificación más precoz del DAP-HS y un tratamiento más temprano, llevando a una reducción de la HIV severa y el número de días en ventilación mecánica.¹⁰

Carmo et al⁹⁵ estudiaron a RN menores de 30 semanas de edad gestacional con ductus para ser tratados con indometacina. Un grupo de ellos fue aleatorizado al tratamiento estándar (n 40) y el otro a ecocardiografía con el fin de definir el número de dosis de indometacina de acuerdo a la evaluación ecocardiográfica (n 34). Se vio que el grupo en que el tratamiento fue guiado por ecocardiografía alcanzó un cierre del DAP con menos dosis. Esta información es de gran interés pues lo ideal es dar la menor dosis posible, dado que los AINEs tienen efectos secundarios.

En el estudio de Bravo et al⁹⁶, se aleatorizó a 49 recién nacidos, 21 de ellos recibieron el tratamiento estándar y 28 de ellos recibieron tratamiento guiado por ecocardiografía. Se vio que los niños en el grupo de tratamiento guiado por ecocardiografía precisaron menos dosis de ibuprofeno para el cierre del DAP (2 dosis) mientras que el grupo de tratamiento estándar recibió 3 dosis. Nuevamente este estudio sugiere que el uso de TnECHO podría ser útil para minimizar el número de dosis de AINEs para lograr el cierre del DAP.

El estudio de Su et al⁹⁷ comparó también el uso de indometacina de manera estándar vs el uso de indometacina guiado por ecocardiografía, de acuerdo al patrón de flujo a través del ductus. Se aleatorizaron 93 pacientes menores de 1500 g, 46 recibieron tratamiento estándar y 47 tratamiento guiado por ecocardiografía. No hubo diferencia significativa en el cierre, tasa de reapertura o ligadura del ductus, ni tampoco en mortalidad ni incidencia de enfermedad pulmonar crónica. Sin embargo se vio que el grupo cuyo tratamiento fue guiado por ecocardiografía recibió menos dosis de indometacina y tuvieron menos morbilidades (relacionadas con efectos secundarios del tratamiento) como insuficiencia renal y sangrado gastrointestinal.

El uso de TnECHO es también útil para definir el soporte hemodinámico en pacientes con DAP. En ocasiones el ductus debuta con clínica de hipotensión. Muchas veces, estos pacientes son tratados con soporte cardiotrópico como dopamina o dobutamina, para intentar incrementar la presión arterial. Sin embargo, debemos recordar que

estos medicamentos podrían empeorar la sintomatología al promover el shunt de izquierda a derecha al incrementar la resistencia vascular sistémica. En estas situaciones es muy útil contar con ecocardiografía a pie de cama para poder así elegir el tratamiento que más convenga al neonato.⁹⁸

Además, el ductus, aunque más frecuente en la población de prematuridad extrema, también podría presentarse en los RN a término. Si bien es cierto, el 90% de los DAP se cierra funcionalmente en las primeras 72 horas de vida en los RN a término, existen también ductus que llevan a estados de edema pulmonar e insuficiencia miocárdica en RN a término críticamente enfermos. Es por ello que es importante monitorizar el ductus en niños a término con inestabilidad hemodinámica persistente o insuficiencia cardíaca que no responde al manejo conservador habitual. En este contexto resulta útil también contar con TnECHO pues nos permite evaluar a estos niños de cerca, de manera frecuente.⁹⁹

2.2.6.c. Ecocardiografía para la evaluación del síndrome cardíaco post-ligadura de DAP

La TnECHO es también útil para el estudio frecuente de los neonatos que precisan ligadura del ductus arterioso. Tras la ligadura del DAP, existe el llamado síndrome cardíaco post-ligadura de DAP (PLCS según sus siglas en inglés), este se compone de insuficiencia oxigenatoria (en un 60% de casos), insuficiencia ventilatoria (hasta un 45% de casos), e hipotensión sistémica (en un 35% de casos)^{100, 101}. Algunos de los factores de riesgo asociados al PLCS son edad temprana al momento de la ligadura, peso menor de 1000g, menor edad gestacional, DAP grande y el nivel de soporte cardiorrespiratorio preoperatorio. La fisiopatología del PLCS no está del todo dilucidada. Se cree que se debe a la inhabilidad de un miocardio inmaduro para adaptarse a cambios bruscos como un incremento brusco en la resistencia vascular sistémica (postcarga del ventrículo izquierdo), una caída brusca del retorno venoso pulmonar (precarga del VI). Usualmente el PLCS se da entre las 8-12 horas post-cirugía, así que existe una ventana de tiempo en que podría instaurarse una intervención precoz, si pudiéramos reconocer la aparición de este síndrome

oportunamente. Estudios como el de Noori et al¹⁰⁰ y Teixeira et al¹⁰¹ han demostrado la utilidad de la ecocardiografía a pie de cama en casos de inestabilidad luego de ligadura del DAP, en el periodo post operatorio. En el estudio de Jain et al⁵, se vio que un gasto cardiaco izquierdo menor de 200ml/kg/min una hora tras la ligadura del DAP era un predictor altamente sensible de hipotensión sistémica y predecía la necesidad de inotropos. Es por ello que en la segunda época del estudio se utilizó esta información para iniciar una infusión de milrinona endovenosa para prevenir la aparición de PLCS. Los pacientes tratados con milrinona tuvieron una menor incidencia de insuficiencia ventilatoria (15% vs 48%; p=0.2) y además menor necesidad de inotropos (19% vs 56%; p=0.1). Este estudio muestra que el uso de la ecocardiografía a pie de cama luego de la intervención quirúrgica para el cierre de DAP es útil para detectar a los pacientes con alto riesgo de un deterioro cardiorrespiratorio para así iniciar tratamiento profiláctico con milrinona. El uso de milrinona redujo el riesgo absoluto de PLCS en 0.31 (IC 95% 0.06-0.52), teniendo un número necesario para tratar (NNT de 3).

Sehgal y McNamara¹⁰² muestran también la utilidad de la TnECHO como parte de la evaluación perioperatoria antes de la ligadura del DAP. Mencionan que la evaluación de la perfusión de la arteria coronaria puede ayudar a identificar recién nacidos en riesgo de una insuficiencia miocárdica, hipotensión y necesidad de inotropos. Cuando el miocardio es expuesto a un incremento brusco de la resistencia vascular sistémica y un cambio en su precarga, el ventrículo izquierdo no puede compensar adecuadamente. Se identificó que el flujo por arteria coronaria incrementaba luego de la ligadura. Los autores comentan que si hubiera un flujo alterado de la arteria coronaria previo a la cirugía podríamos identificar un estado hemodinámico más alterado y más riesgo a inestabilidad post operatoria.

2.2.6.d. Ecocardiografía para la evaluación del recién nacido hemodinámicamente inestable

La inestabilidad hemodinámica ocurre con relativa frecuencia en los RN de extremo bajo peso y las estrategias de manejo son muy variables y no necesariamente basadas

en criterios validados científicamente. La etiología del compromiso cardiovascular puede ser muy diversa, y comúnmente la terapia de estos niños se realiza según un protocolo, que tradicionalmente pasa por administración de volumen, uso de dopamina, dobutamina, epinefrina y suplementación con hidrocortisona. La pregunta que debemos hacernos es: ¿una sola terapia se ajusta a todos nuestros pacientes? Debemos considerar que la información clínica es insuficiente, y que lo ideal sería enfocar a estos pacientes preguntándonos cual es la fisiopatología de lo que está ocurriendo, para así poder adaptar nuestra terapia según el caso del paciente. La transición de la vida intrauterina a la vida extrauterina en los RN pretérmino es compleja y los cambios se dan de manera rápida y dinámica, por este motivo, es importante considerar el uso de TnECHO como una herramienta útil para poder definir mejor la fisiopatología de lo que está ocurriendo y así poder optimizar el cuidado de nuestros pacientes.¹⁰³

A pesar de los múltiples avances en las últimas décadas, la evaluación cardiovascular y el monitoreo de los RNs con compromiso vascular sigue basándose en marcadores clínicos pobremente validados como son la frecuencia cardiaca y el llenado capilar.⁵⁷ Tradicionalmente la conducta que se adopta ante un RN de extremo bajo peso con hipotensión es el uso de bolos de volumen (10 ml/kg de suero salino). El Joint Working Party of the British Association of Perinatal Medicine recomendaba una expansión con volumen, seguida de una infusión con un agente inotrópico si no había respuesta al volumen. Dasgupta et al publicaron un manejo estandarizado para RN de muy bajo peso con hipotensión, donde se proponía la dopamina como la primera droga luego de expansión con volumen¹⁰⁴ ¿Tiene esto sentido? ¿Tratar a todos con un mismo régimen? Si tratáramos a todos de la misma manera estaríamos ignorando las particularidades de cada paciente y las diversas etiologías de la hipotensión. Por ejemplo, en ausencia de un factor de riesgo para pérdida de volumen, vale la pena infundir volumen? Esta estrategia podría incluso resultar en una sobrecarga de fluido en un paciente que no necesitara volumen. Por otro lado, la elección de dopamina como la primera droga a considerar en RN pretérmino hipotenso, tiene sentido? Si recordamos que el mecanismo de acción de la dopamina es la vasoconstricción y por lo tanto un incremento en la resistencia vascular periférica y la postcarga, esto podría

asociarse a un empeoramiento en aquellos niños que por ejemplo tienen un DAP hemodinámicamente significativo pues empeoraría la irrigación a nivel sistémico y propiciaría un mayor flujo sanguíneo pulmonar. En otro caso como podría ser un shock con vasodilatación, la dopamina podría ser el mejor soporte inotrópico. Es por ello que debemos considerar ante que patología estamos para así poder elegir nuestra terapia de acuerdo a la fisiopatología de esta. En una encuesta realizada a neonatólogos y pediatras en entrenamiento de neonatología en Australia y Nueva Zelanda, el 83% de los respondedores, creían que una ecocardiografía enfocada realizada por el neonatólogo podía dar información hemodinámica relevante que podría mejorar las decisiones para el manejo del paciente.¹⁰⁵

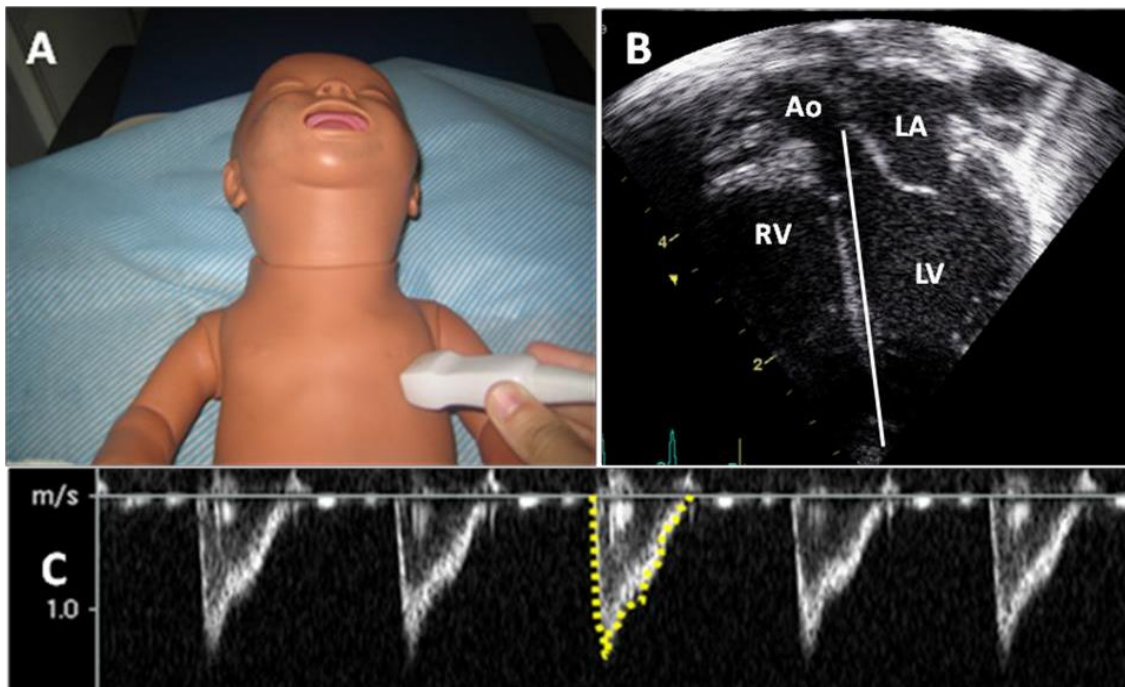


Figura 18. Ventana apical para realizar el cálculo del gasto cardiaco izquierdo. A. Posición del transductor. B. Colocación del doppler pulsado a través de la válvula aórtica. C. Medición del área para VTI.

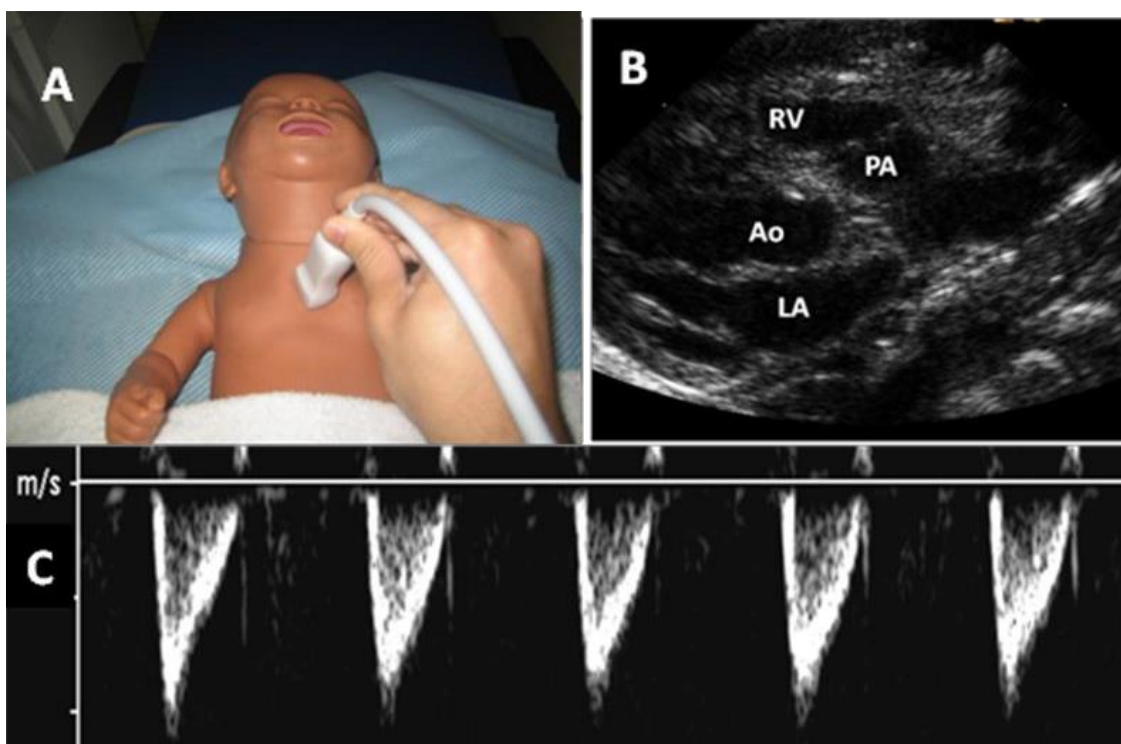


Figura 19. Eje paraesternal largo para medición del gasto cardiaco derecho. A. Posición del transductor. B. Vista para obtener el doppler pulsado a través de la arteria pulmonar. C. Medición del área para el VTI.

El área bajo la curva en el panel C de la figura 18 y 19 se utilizan para calcular el VTI (integral velocidad tiempo), que es una medida de la distancia recorrida por la sangre durante un latido cardiaco. Para obtener el gasto cardiaco se multiplica el VTI por el área en corte transversal de la aorta o de la pulmonar, tal que el gasto cardiaco izquierdo sería: $\pi r^2/2 \times \text{VTI} \times \text{Frecuencia cardiaca} / \text{peso}$. El radio se obtiene de la medición del anillo aórtico en eje paraesternal largo y del anillo pulmonar en eje paraesternal largo oblicuo. El gasto cardiaco se expresa en ml/kg/min. En el caso del gasto cardiaco derecho, este refleja el retorno sanguíneo de la circulación sistémica, y en ausencia de un shunt atrial de izquierda a derecha, refleja el flujo sanguíneo sistémico. Sin embargo, debemos recordar que la medición del gasto cardiaco derecho puede variar de acuerdo a la presencia de un shunt interauricular.

2.2.6.e. Ecocardiografía para la evaluación de función miocárdica

La hipotensión sistémica es un problema relativamente común que afecta a aproximadamente un tercio de los recién nacidos pretérmino, de los cuales un 40% requeriría soporte inotrópico ¹⁰⁶

La evaluación del gasto cardiaco nos da información acerca de la función miocárdica y el estado hemodinámico del paciente, así como las mediciones de la fracción de acortamiento y la fracción de eyección. La fracción de acortamiento mide la contractilidad del ventrículo izquierdo utilizando el modo m desde el eje paraesternal largo o corto. Se calcula midiendo el diámetro al final de la sístole del VI (LVESD) y el diámetro al final de la diástole del VI (LVEDD) aplicando la siguiente fórmula: $(LVEDD - LVESD) \times 100 / LVEDD$. Los valores normales en neonatos son entre 28% a 40%.

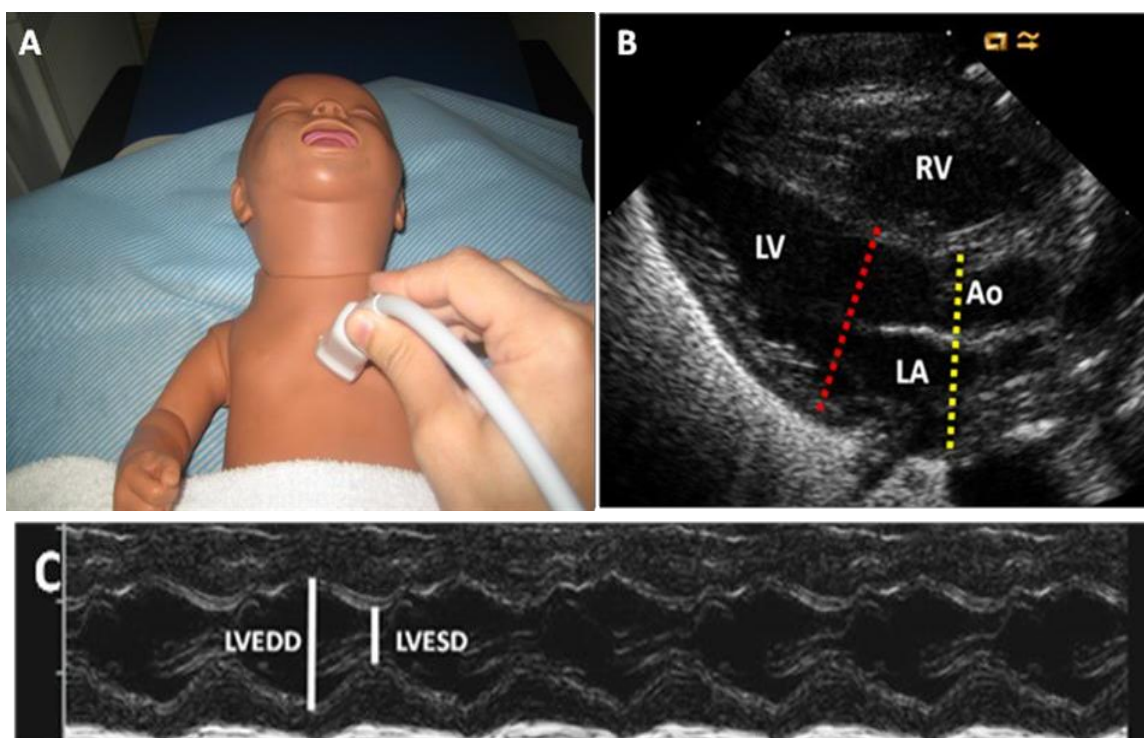


Figura 20. Eje paraesternal largo. A. Posición del transductor. B. Línea amarilla se utiliza para la medición del AI/Ao. Línea roja para cálculo de fracción de acortamiento. C. Modo M para fracción de acortamiento. LVEDD: Diámetro al final de diástole del ventrículo izquierdo. LVESD: Diámetro al final de la sístole del ventrículo izquierdo.

Estas mediciones se pueden realizar a pie de cama y ayudarán a tomar decisiones acerca del manejo de inotropos en pacientes con inestabilidad hemodinámica por ejemplo.

La TnECHO es también de suma utilidad en la evaluación de la función miocárdica en pacientes con asfixia perinatal. Como sabemos, existe una disfunción cardiaca que podría contribuir a una mayor injuria neurológica en caso de no ser tratada. Debemos recordar que la presión arterial, no es necesariamente un buen indicador de gasto cardiaco, por lo que el uso de la TnECHO resulta muy útil.¹⁰⁷

Debemos recordar que la función diastólica del miocardio también puede estar alterada en el recién nacido. El llenado ventricular durante diástole se ve influenciado por la distensibilidad del ventrículo. En adultos y niños mayores, el flujo trans-mitral ocurre en dos fases: la primera fase es de flujo pasivo, durante la cual ocurre la mayoría del llenado ventricular y la segunda fase es la de contracción auricular, durante la cual pasa aproximadamente un tercio del retorno venoso de aurícula a ventrículo. En pacientes con disfunción diastólica, la mayoría del llenado ocurre durante la fase de contracción auricular pues el miocardio ventricular es poco distensible. La inmadurez del miocardio fetal y de recién nacidos pretérmino se caracteriza por una disfunción diastólica. Esto se puede evaluar usando doppler pulsado a través de la válvula mitral. El flujo se observa como un patrón bifásico, en que la primera fase es la onda E (flujo pasivo a través de la válvula aurículo ventricular al inicio de la diástole) y la segunda fase es la onda A (que corresponde a la contracción auricular al final de la diástole). Un índice E:A <1 indica disfunción diastólica.

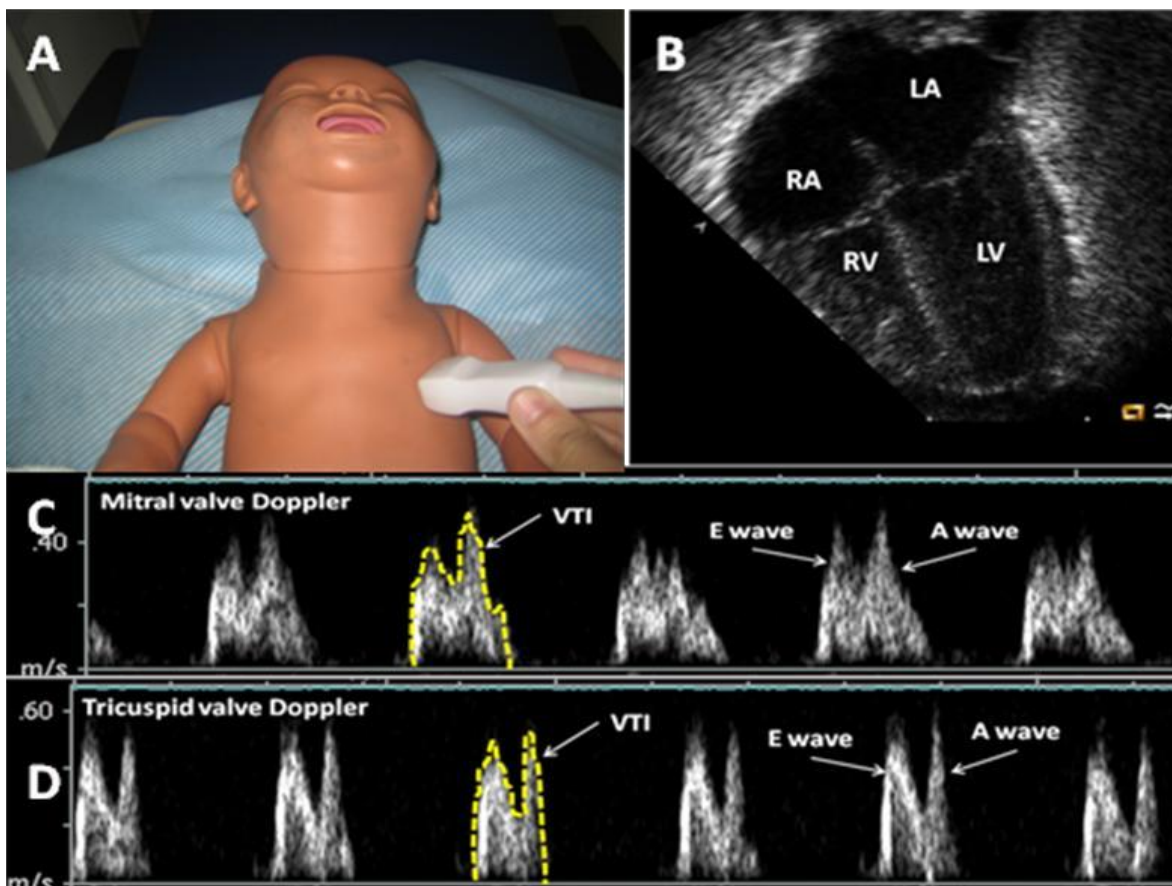


Figura 21. Evaluación de la función diastólica. A. Posición del transductor para ventana apical 4 cámaras. B. Vista apical. C. Doppler pulsado de válvula mitral. D. Doppler pulsado de válvula tricúspide.

2.2.6.f. Ecocardiografía para la evaluación de la perfusión de órganos

En el estudio de Osborn et al⁵² se vio que la disminución del flujo de sangre en la vena cava superior (VCS) era frecuente en las primeras 24 horas de vida en los RN de extremo bajo peso y que estaba asociado a una subsecuente hemorragia intra o periventricular y un desarrollo neurológico alterado. Es decir que la TnECHO podría ser útil para valorar el flujo en la VCS en las primeras horas de vida y así poder predecir que niños tendrían riesgo de HIV.

El estudio de Evans et al¹⁰⁸ mostró también que el flujo sanguíneo bajo en VCS estaba asociado a una subsecuente HIV, más aún que medición de presión arterial o doppler de la arteria cerebral media.

También hay estudios, como se describe anteriormente en el apartado de DAP, que utilizan la TnECHO para evaluar el flujo sanguíneo (doppler) a nivel de la arteria meséntérica, celiaca o arteria renal para tener más información que podría ser útil para valorar el impacto del DAP en la perfusión intestinal. Se ha visto que el flujo de la arteria celiaca puede caer en la presencia de un DAP a pesar de un incremento en el gasto cardíaco izquierdo.

El flujo cerebral puede verse afectado también por la presencia de un DAP. Pacientes pretérmino con un DAP tienen menor velocidad media y al final de la diástole en la arteria cerebral media comparado con pacientes control. Se cree que puede haber alguna relación entre la perfusión cerebral en presencia de un DAP y la aparición de HIV.¹⁰⁹

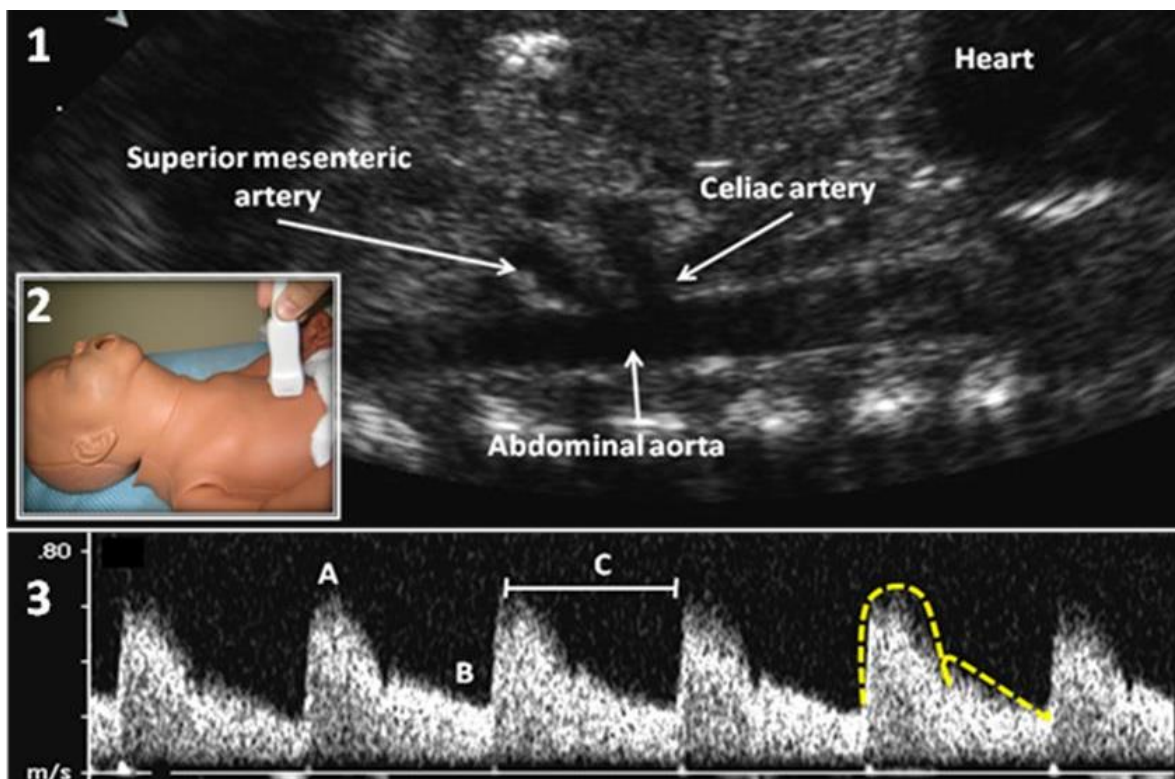


Figura 22. Doppler de flujo en arteria celiaca desde ventana subcostal. 1. Vista subcostal. 2. Posición del transductor en ventana subcostal, corte sagital. 3. Doppler de flujo sanguíneo en arteria celiaca. A. Velocidad máxima. B. Velocidad mínima.

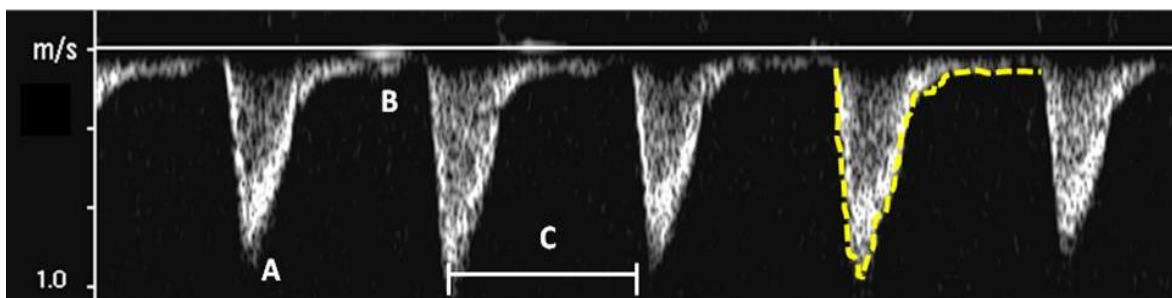


Figura 23. Flujo en aorta descendente utilizando la ventana ductal. A muestra la velocidad máxima, B la mínima.

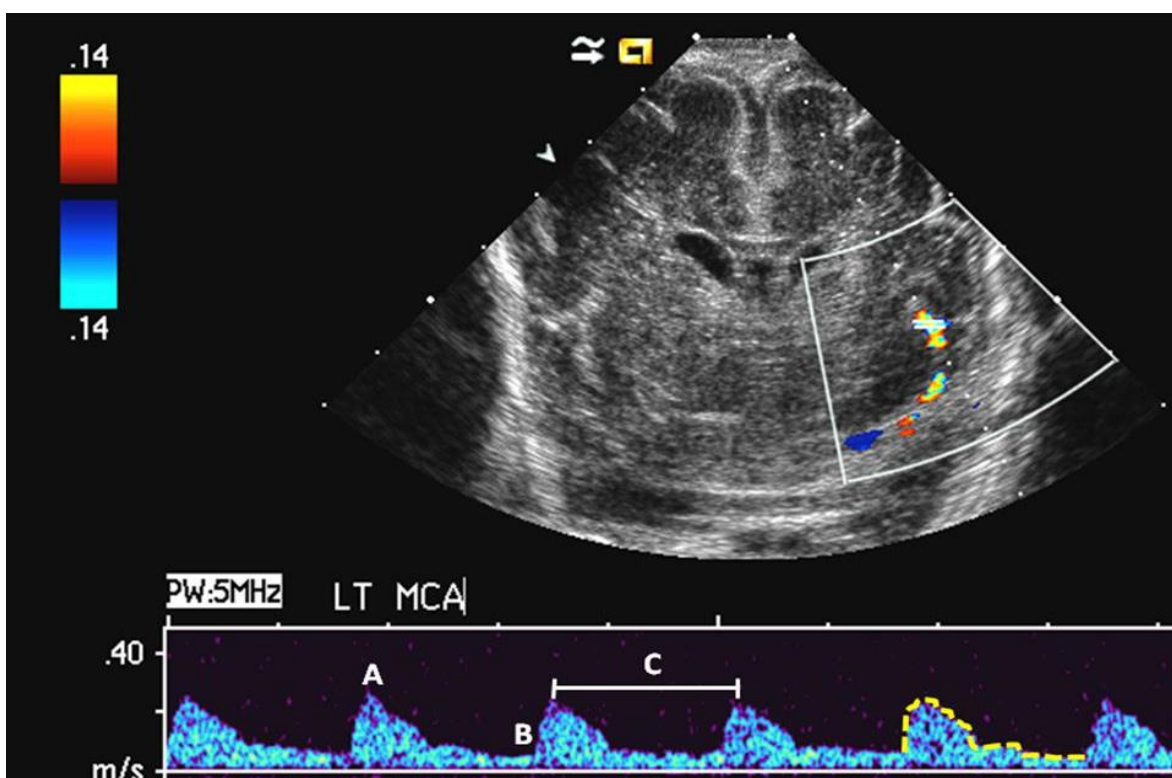


Figura 24. Evaluación de la arteria cerebral media desde la fontanela anterior. El doppler se obtiene al lado de la fisura de Silvio y se mide la velocidad máxima (A), mínima (B) y media (C).

2.2.6.g. Ecocardiografía para la evaluación de la hemodinámica pulmonar

La evaluación funcional del ventrículo derecho es importante en pacientes con hipertensión pulmonar. Hipertensión pulmonar es el diagnóstico principal en hasta un 4% de pacientes ingresados a unidades de cuidados intensivos neonatales terciarias, con una alta mortalidad de entre 5 a 20%.^{110, 111} Incluso algunas de las enfermedades

pulmonares crónicas de los recién nacidos como la displasia broncopulmonar o la hernia diafragmática congénita están complicadas por hipertensión pulmonar. Tradicionalmente la evaluación ecocardiográfica que se realiza por parte de los neonatólogos, incluye la valoración del tabique interventricular y la regurgitación tricuspídea con alta velocidad que se ve en casos de hipertensión pulmonar. Otro signo que se evalúa es la dirección del flujo transductal para determinar la severidad de la hipertensión pulmonar. Un flujo no restrictivo de derecha a izquierda nos indica que la hipertensión pulmonar es suprasistémica, mientras que un shunt bidireccional implica una presión arterial pulmonar similar a la presión sistémica.⁴

La TnECHO sirve para hacer el diagnóstico, indicar inicio de tratamiento y también para medir la respuesta al tratamiento instaurado con óxido nítrico inhalado por ejemplo en estos pacientes.¹¹²

El reciente estudio de Jain et al ¹¹⁰, describe valores de referencia para dimensión y función del ventrículo derecho en el periodo transicional de los recién nacidos. Aquí se habla de técnicas novedosas para la evaluación de la función del ventrículo derecho para determinar valores de referencia en recién nacidos.

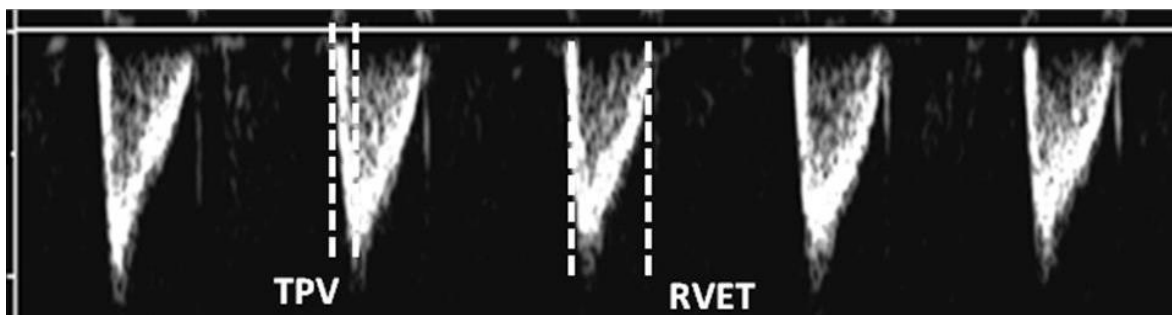


Figura 25. Medición del tiempo hasta la velocidad pico (TPV) y del tiempo de eyección del ventrículo derecho (RVET)

2.2.6. h. Ecocardiografía para verificar la posición de catéteres centrales

La TnECHO también se utiliza hoy en día para ayudar a posicionar o verificar la posición de catéteres centrales como catéter umbilical venoso o catéter central de inserción periférica (PICC).

El uso de catéter venoso umbilical (CUV) se reportó por primera vez en 1947 para la realización de una exanguíneo transfusión. Desde entonces se fue adoptando esta

práctica que actualmente es rutinaria para el cuidado de los recién nacidos pretérmino y a término críticamente enfermos que requieran acceso venoso central para reanimación con fluidos y estabilización en atención inmediata, así como para infusión de medicamentos prolongada o nutrición parenteral de larga duración .

El CUV debe estar posicionado adecuadamente, siendo ideal colocar la punta del catéter a nivel de la unión de la vena cava inferior con la aurícula derecha. Existen distintas complicaciones que podrían aparecer por una mal posición del CUV, como son arritmias cardíacas, trombosis intracardiaca, embolización sistémica y pulmonar, endocarditis, efusión pericárdica, efusión pleural, perforación miocárdica y taponamiento cardíaco, entre otros. Por este motivo es importante posicionar los catéteres en una localización adecuada. Existen diversos estudios que han intentado identificar variables para estimar la longitud correcta de inserción de los catéteres. Los dos métodos más comunes son el cálculo basado en la medición hombro-ombiligo ¹¹³ y la ecuación basada en el peso del recién nacido ¹¹⁴. El método más frecuentemente utilizado, y actual gold standard, para confirmar la posición de los CUVs es la radiografía anteroposterior y algunos centros utilizan también las radiografías laterales, utilizando los cuerpos vertebrales y el diafragma como punto de referencia. A inicios de los años 1970s, Rosen y Reich ¹¹⁵ y Campbell ¹¹⁶ recomendaron la utilización de radiografías laterales para confirmar el correcto posicionamiento de los CUVs.

En los últimos años, han surgido numerosos reportes de casos que sugieren que existen complicaciones relacionadas a la posición de los CUVs incluso en situaciones que se asumía como una óptima posición de acuerdo a las radiografías. A la luz de esto, hay estudios que cuestionan la validez de los métodos para estimar la longitud de inserción de los CUV y la precisión de las radiografías para valorar la posición de la punta de los CUVs. Con el creciente uso de la ecocardiografía en las UCIN, realizadas inicialmente con distintos propósitos, se encontró una alta incidencia de catéteres mal posicionados, con muchos de ellos en aurícula derecha o izquierda incluso. Algunos autores como Greenman et al, sugieren que el gold standard para confirmar la posición de los CUVs debiera ser el uso de ecocardiografía realizando inyección con suero salino para facilitar el reconocimiento de la punta del catéter. ¹¹⁷

En el estudio de Ades et al ¹¹⁸ el uso de ecocardiografía mostró que los CUVs estaban realmente en una posición idónea en la unión de la aurícula derecha y la vena cava inferior sólo en el 23% de los casos, 12/53 pacientes. Quince (28%) estaban en aurícula derecha y 24 (45%) estaban mal posicionados en la aurícula izquierda. La sensibilidad y especificidad de la radiografía antero posterior para evaluar una posición inadecuada fue del 32% y del 89% respectivamente. Además el estudio mostró que las radiografías laterales era más sensibles pero menos específicas que las antero posteriores para detectar punta de catéter en aurícula izquierda.

El estudio de Pulickal et al ¹¹⁹ sugiere que la TnECHO es un mejor método para identificar una adecuada localización de la punta del CUV, comparado con radiografía. En este estudio se vio que 9 pacientes (27%) de los evaluados requirieron corregir la posición del catéter (aunque éste parecía estar en adecuada posición en la radiografía). Cuatro de ellos tenían la punta del catéter en la aurícula derecha y 5 en la aurícula izquierda.

Fleming y Kim ¹²⁰ mostraron que la colocación de catéteres umbilicales guiado por ultrasonido disminuyó el tiempo para la colocación de éstos en aproximadamente 64 minutos, además de disminuir las manipulaciones y el número de radiografías requeridas.

Además de los CUVs, los catéteres centrales de inserción periférica (PICCs) también son de uso común en las UCIN en pacientes pretérmino y a término con enfermedades graves. Actualmente, los PICC se colocan a ciegas y se insertan de acuerdo al largo determinado por la medición anatómica externa aproximada. Para verificar la posición del catéter, se utilizan radiografías torácicas o abdominales luego de su colocación. Frecuentemente, no están en una posición idónea, por lo que no es raro tener que reposicionarlos y realizar otra radiografía. Esto implica mayor manipulación, mayor exposición a radiación y un mayor tiempo sin recibir los cuidados óptimos de enfermería. Además existe un riesgo importante de salida accidental del catéter durante el reposicionamiento de éste, mientras no está fijado firmemente. En la mayoría de centros, la radiografía antero posterior es el método más comúnmente usado para confirmar la correcta posición del PICC. Sin embargo,

debemos considerar que éstas son fotos de un determinado momento que va a depender mucho de la posición del miembro superior o inferior, según sea el caso. Varios estudios en adultos ^{121, 122, 123} ya han mostrado la utilidad del ultrasonido en tiempo real para la colocación de PICCs. Algunos estudios sugieren que el gold standard para definir la posición adecuada de catéteres umbilicales en neonatos debiera ser el ultrasonido ^{117, 120, 124}

En el estudio de Katheria et al ¹²⁵ se mostró que el uso de ultrasonografía para guiar la colocación de PICCs disminuyó el tiempo de duración del procedimiento en 30 minutos y disminuyó el número de manipulaciones así como el número de radiografías realizadas.

El estudio de Jain et al ¹²⁶ mostró que las radiografías tenían una sensibilidad del 64% y una especificidad del 55% para determinar mal posición de PICCs en relación con ecocardiografía. Se evitó la repetición de radiografías para verificar la posición del PICC en el 41% de los casos, realizando la manipulación del catéter bajo visión directa con TnECHO.

Tauzin et al ¹²⁷ mostraron el valor de la ecocardiografía para identificar la localización de la punta de los PICCs en prematuros y proponen que la ecocardiografía debiera ser el gold standard para el posicionamiento de los PICCs en esos pacientes.

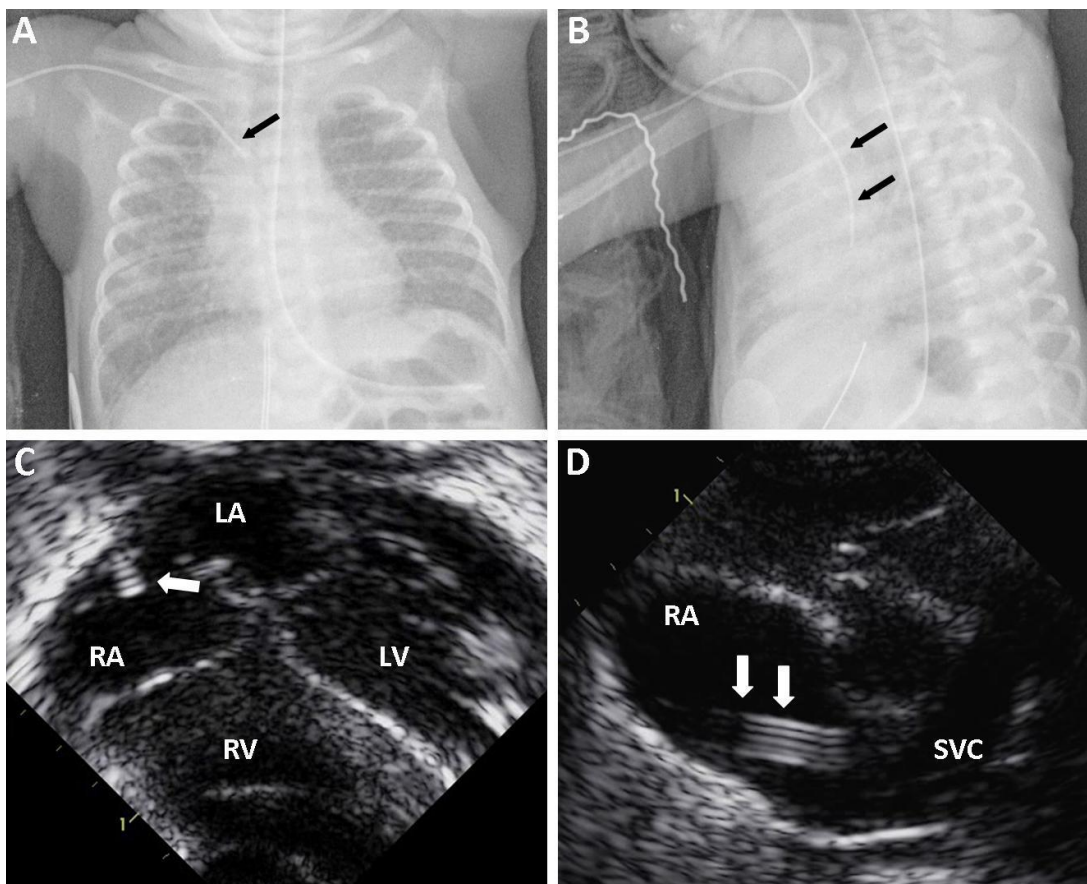


Figura 26. Falta de correlación entre la posición de la punta del catéter (PICC) en las radiografías y ecocardiografías. A: Radiografía antero posterior. B: Radiografía lateral. C: Vista subcostal. D: Vista en eje largo.

2.3. Entrenamiento para realización de ultrasonografía a pie de cama

Cuando hablamos de ultrasonografía a pie de cama, debemos entonces pensar, quién entonces puede o debe realizar este tipo de evaluaciones? Cuánto entrenamiento se necesita para poder hacerlo? Y para ello, se utiliza el concepto de pirámide de pericia. La base de la pirámide sería el examen físico asistido por ultrasonografía, y lo ideal sería entonces que la mayoría de especialistas en cuidado intensivo tuvieran el nivel de entrenamiento para ello. Y en la parte superior de la pirámide tendríamos a los

expertos altamente entrenados y calificados, entre los cuales habría algunos especialistas de cuidado intensivo y también algún radiólogo o cardiólogo. En el medio de la pirámide estarían los médicos que tuvieran habilidades, conocimientos y entrenamiento avanzado en determinada área (por ejemplo ecocardiografía) con experiencia amplia en la evaluación por ultrasonografía del sistema.

En la literatura, existen varios estudios y revisiones acerca del entrenamiento del personal de cuidados intensivos para la realización de ecocardiografía. En la revisión de Mayo¹²⁸ se habla de un nivel básico de ecocardiografía, donde se enfatiza la importancia de un examen dirigido, que se usa para la evaluación del shock y para guiar el manejo del paciente con inestabilidad hemodinámica, versus un nivel avanzado que comprende una evaluación más completa, pero que no es necesaria para todos los médicos de una UCI.

En el año 2009, un grupo de representantes de las organizaciones de cuidados intensivos de diferentes partes del mundo (Europa, Norte América, América Latina, Medio Oriente, región Asia-Pacífico) se reunió para intentar determinar cómo entrenar al personal de las UCIs para que sea competente en la realización de ecocardiografía. Emitieron un documento llamado el International Expert Statement on Training Standards for Critical Care Ultrasonography. En este se acordó que un entrenamiento básico constaría de un curso teórico de un mínimo de 10 horas y un mínimo de 30 estudios supervisados, mientras que para un entrenamiento avanzado se requerirían al menos 40 horas de curso teórico y al menos 150 ecocardiografías transtorácicas y 50 transesofágicas. En este documento ellos afirman que todo médico de UCI debiera tener el nivel básico de ecocardiografía.¹²⁹

En el año 2010, la Sociedad Americana de Ecocardiografía y el Colegio Americano de Médicos de Emergencia emitieron también un documento que apoya el uso de ecocardiografía dirigida por parte de los médicos emergencistas.⁸ En este documento se habla del rol y la importancia del FOCUS (Focused Cardiac Ultrasound) como parte del entrenamiento y la práctica rutinaria de un médico de emergencias.

En el estudio de Vignon et al ¹³⁰ se reportó que un número de 33 ecocardiografías transtorácicas sería adecuado para el entrenamiento en ecocardiografía básica de los residentes de cuidados intensivos, combinado con un programa teórico de 12 horas.

Mientras que Charron et al¹³¹ reportaron que 30 estudios podrían ser suficientes para adquirir la competencia en la realización de ecocardiografía transtorácica dirigida.

Existen quienes sugieren que debiera haber una certificación en ecocardiografía básica para cuidados intensivos. Mayo¹²⁸ sostiene que no debiera ser así, ya que otros aspectos del cuidado intensivo, que son de mayor riesgo y complejidad, como el manejo de vía aérea, acceso vascular, manejo de ventilación mecánica no requieren ninguna certificación. Él sugiere que el entrenamiento en ecocardiografía debe ser parte de la práctica y entrenamiento habitual de las UCIs, por lo tanto no ameritaría ninguna certificación.

Marum y Price¹³² reportan sobre el programa de entrenamiento desarrollado por el equipo de trabajo de ecocardiografía de Portugal, llamado el FADE (Focused Assessment Diagnostic Echocardiography). Éste es un programa formativo para adquirir un nivel de competencia básico en ecocardiografía para los médicos intensivistas.

Beaulieu¹³³, en Canadá, propone el programa FOCUS (Focused Critical Care Ultrasound Study) como un entrenamiento básico para los médicos en formación de cuidado intensivo. El énfasis de este programa está en el uso de la ecocardiografía como una extensión del examen físico, orientado a cuatro preguntas clínicas específicas: cuál es la función del ventrículo izquierdo?, cuál es la función del ventrículo derecho?, hay efusión pericárdica?, cuál es el nivel de volemia del paciente? (evaluado de manera indirecta midiendo la vena cava inferior).

Neri et al¹³⁴, en Italia, comentan también de la importancia de un entrenamiento adecuado para el personal de UCI, dividiéndolo también en niveles de pericia. Los autores van más allá de tan sólo dividir en 3 niveles de pericia y las necesidades de práctica que un médico necesitaría para ellos, sino que hablan también de la importancia de mantener las habilidades. Por ejemplo refieren que un intensivista con nivel 1 (básico) debiera realizar por lo menos 100 ultrasonidos al año para mantener sus habilidades. Además refiere que aquellos médicos en nivel 1 no deberían pasar más de un mes sin realizar ecografías, pues las habilidades se van perdiendo. Además sugieren que se deberían mantener reuniones regulares con especialistas en imagen (cardiólogos, radiólogos, entre otros) para revisión de casos.

En el año 2008, el World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound emitió un documento¹³⁵ donde recalcan la importancia del entrenamiento de los intensivistas en ecocardiografía. Los autores remarcan que la formación que tienen los cardiólogos no es necesariamente la ideal para la evaluación de los pacientes de UCI, puesto que no están entrenados por ejemplo en el uso de la ecocardiografía como una herramienta de monitoreo. Además las condiciones más específicas y relevantes para el uso de ecocardiografía en UCI, como son el nivel de volemia, la función ventricular en relación con el soporte inotrópico, las interacciones corazón pulmón en pacientes en ventilación mecánica, son mejor comprendidas por el intensivista. Este grupo de expertos también propone un nivel de competencia en ecocardiografía en forma piramidal, dividido en tres, de acuerdo a la pericia del médico y detalla las habilidades de cada nivel.

Recientemente, en el año 2014, se publicó un consenso internacional de los estándares de entrenamiento para ecocardiografía avanzada en cuidados intensivos.¹³⁶ En este documento se enfatiza la importancia de que la ecocardiografía sea realizada por el médico intensivista, a pie de cama, durante el proceso activo de diagnóstico y manejo de la inestabilidad cardiovascular, para así poder tomar decisiones relevantes según el contexto clínico del paciente. Es por ello que el examen ecocardiográfico podría ser un examen completo (como el habitualmente realizado por los cardiólogos) versus un examen corto, dirigido a la pregunta diagnóstica o terapéutica. Se enfatiza entonces la importancia del entrenamiento no sólo como una herramienta diagnóstica sino como una herramienta de monitorización hemodinámica. En este consenso el entrenamiento en ecocardiografía avanzada requiere de haber completado al menos 100 ecocardiografías transtorácicas y 35 transesofágicas.¹³⁶

También ha habido múltiples estudios para determinar cuánto entrenamiento sería necesario para que los médicos emergencistas pudieran realizar ecocardiografía. Como se comentó anteriormente, el estudio de Bustam et al⁴² mostró que los residentes de emergencias pudieron realizar e interpretar ecocardiografías enfocadas de manera fiable tras un periodo corto de entrenamiento.

Jones et al¹³⁷ mostraron que un curso corto de 6 horas de entrenamiento en ecocardiografía dirigida, mejoraba los puntajes de los médicos emergencistas en la realización e interpretación de ecocardiografías significativamente.

Lee et al⁶⁰ hicieron un estudio piloto para ver si un neonatólogo con entrenamiento limitado (corto) podía identificar adecuadamente el DAP. Se realizaron 24 ecocardiografías (hechas por neonatólogos) antes de la ecocardiografía por parte de los cardiólogos y se encontró una sensibilidad del 69% y especificidad del 88%. Este estudio sugiere que con un entrenamiento adecuado, los neonatólogos podrían realizar ecocardiografía en sus pacientes.

2.4. Telemedicina en ecocardiografía a pie de cama

El uso de telemedicina para ayudar en el diagnóstico y manejo de los neonatos también se ha reportado en la literatura.¹³⁸ En los casos en que no existe ningún médico experto en la realización de ecocardiografía neonatal en un centro, sólo proveedores con nivel básico de ultrasonografía, existe la posibilidad de utilizar la telemedicina. Muchos hospitales en áreas rurales, ciudades pequeñas, hospitales comunitarios, no tienen un acceso rápido a un cardiólogo pediatra en caso surgieran dudas acerca del estado cardiovascular de los pacientes. En estos casos, las imágenes podrían ser realizadas por personal con un nivel de entrenamiento mínimo y la telemedicina tendría el potencial de llevar diagnósticos a tiempo real a estos centros. Los estudios iniciales, han mostrado que la tele cardiología es precisa, mejora el cuidado del paciente y es costo efectiva, además de prevenir el transporte innecesario de neonatos a centros especializados con cardiólogos pediatras. En el estudio de Sable et al, se realizaron 500 estudios en 364 pacientes en un periodo de 30 meses, siendo la indicación más frecuente el descarte de cardiopatía congénita, seguido de sospecha de ductus arterioso persistente, entre otros diagnósticos. El uso de la telemedicina tuvo un impacto inmediato en el cuidado de los pacientes en 151 casos, dado que la opinión o más bien la interpretación del estudio realizado llevó al uso de tratamiento con indometacina en pacientes con DAP en 76 casos, retiro de catéteres umbilicales

localizados en la aurícula izquierda, en 45 casos, tratamiento inotrópico en 19 casos, inicio de prostaglandinas en 8 casos, entre otros. El tiempo promedio entre la decisión de pedir una ecocardiografía y el final de la videoconferencia fue de 28 minutos, versus la espera habitual de aproximadamente 12 horas para llevar el video al centro de referencia y ser visto por el cardiólogo. Además de que al enviar el video, se pierde la posibilidad de hacer alguna toma o foto adicional bajo la guía del cardiólogo experto.¹³⁹

3. Objetivos

Caracterizar el impacto de la implementación de un programa de ecocardiografía neonatal dirigida, en la toma de decisiones en la práctica clínica de problemas cardiovasculares, en una unidad de cuidados intensivos neonatales de nivel terciario.

4. Material y métodos

Se trata de un estudio retrospectivo donde se auditaron las historias clínicas de los neonatos ingresados en la UCIN que precisaron un examen con TnECHO en el Hospital for Sick Children (HSC), en Toronto, Canadá entre septiembre de 2007 y Abril del 2011.

La UCIN del HSC es un centro de referencia cuaternario con 36 camas que atiende a la ciudad de Toronto (Greater Toronto Area), en Canadá. Además de prematuros extremos, la unidad también atiende a recién nacidos a término o pretérmino con cualquier tipo de enfermedad médica o quirúrgica aguda, excepto los niños nacidos a término con cardiopatía congénita o hernias diafragmáticas.

Se utilizó el sistema de historias clínicas electrónico del hospital para identificar a los niños que tuvieron una consulta al equipo de TnECHO.

Usualmente el equipo médico que maneja a los pacientes solicita una interconsulta al equipo de TnECHO para ayudar en la evaluación clínica, y en el manejo de los pacientes, como también para guiar intervenciones terapéuticas, como el uso de antiinflamatorios no esteroideos, inotropos, óxido nítrico, entre otros. Una interconsulta al equipo de TnECHO se define como una evaluación clínica detallada del estado cardiorrespiratorio del paciente, seguida de una ecocardiografía estructurada y completa para evaluar la función miocárdica y el estado hemodinámico. Todas las evaluaciones por TnECHO incluyen mediciones de distintos parámetros y fueron realizadas de acuerdo a un protocolo específico del HSC. Luego de realizar la ecocardiografía, se integra la información obtenida con la presentación clínica del caso para llegar a una impresión o diagnóstico clínico y poder así formular una recomendación en cuanto al manejo.

Cabe resaltar que la decisión de solicitar una consulta de TnECHO y de poner en práctica o no las recomendaciones, dependen del equipo médico tratante del paciente.

Antes de iniciar el estudio, se obtuvo la aprobación del comité de ética institucional.

Los objetivos evaluados fueron:

- Número de consultas al equipo de TnECHO.
- Indicaciones para las consultas de TnECHO.
- Frecuencia en que la TnECHO llevo a un cambio en el manejo del paciente.
- Frecuencia en que la TnECHO llevó a evitar una intervención innecesaria.
- Frecuencia de hallazgos inesperados que resultaron en una intervención potencialmente beneficiosa para el paciente.

Recolección de la información:

Se recogió la siguiente información demográfica: edad gestacional, peso del recién nacido, vía de parto, antecedentes antenatales, puntaje de Apgar y género. Se recogió información acerca del diagnóstico y del estado clínico del paciente al momento de la realización de la TnECHO, como el soporte cardiorrespiratorio, requerimientos de ventilación, necesidad de inotropos u óxido nítrico, una hora antes y 6 horas después de la evaluación de la TnECHO.

La ecocardiografía se realizó con dos equipos: el equipo de ultrasonido portátil M-Turbo (Sonosite, Bothell, Washington, USA) o el equipo Vivid 7 (GE, Waukesha, WI, USA). Las evaluaciones fueron realizadas como parte de una consulta del estado hemodinámico del paciente, solicitada por el médico tratante. Se registró cuál había sido la indicación de la TnECHO y el estado del paciente en el momento de la interconsulta. Todas las ecocardiografías fueron realizadas por neonatólogos con entrenamiento extenso en ecocardiografía (PJM, AEL-K y AJ) o por residentes de subespecialidad en entrenamiento, bajo la supervisión de los tres ecocardiografistas expertos. Todas las ecocardiografías fueron reportadas en ese mismo momento por el médico adjunto de neonatología y jefe del programa de TnECHO (PJM) con sugerencias en cuanto al manejo. Los resultados de la interconsulta y cualquier recomendación fueron comunicados directamente al equipo médico tratante y documentados en la historia clínica electrónica. Todos las imágenes de los estudios fueron archivadas. Todas las ecocardiografías fueron realizadas de acuerdo al protocolo de la unidad, procedimiento estandarizado, que se describe en el anexo 1. Se realizaron estudios ecográficos de seguimiento de acuerdo a la situación clínica de cada paciente.

El impacto de cada TnECHO en la práctica clínica fue categorizado en las siguientes categorías:

1. Diagnóstico inesperado: se definió como inesperado a cualquier hallazgo que no hubiera sido sospechado clínicamente previo a la ecocardiografía.
2. Cambio en el manejo: se definió como el inicio de alguna intervención terapéutica nueva instituida luego del examen.
3. Evitar una intervención planificada: se definió como el hecho de que no se realizara una intervención terapéutica que hubiera estado previamente indicada con bases clínicas tras haber recibido la información de la TnECHO.
4. Monitorización de respuesta terapéutica: se definió como el uso de TnECHO para escalar o des escalar terapia ya instituída previamente.
5. Ningún aporte nuevo en casos donde la TnECHO no hubiera detectado nada nuevo.

Se utilizó estadística descriptiva para evaluar y sintetizar la data, utilizando SPSS (versión 20, IBM, Armonk, NY, USA).

5. Resultados

Durante el periodo evaluado, de septiembre de 2007 a abril de 2011, se realizaron 512 ecocardiografías en 199 pacientes. Hubo 8 estudios en los últimos 4 meses del año 2007, 24 estudios en el año 2008, 156 en el año 2009, 264 en el 2010 y 60 en el primer trimestre del 2011. 62% de los pacientes tuvieron más de una evaluación por parte del equipo de TnECHO. Cada niño tuvo una mediana de 2 ecocardiografías (Rango entre 1 a 15).

La mediana de edad gestacional fue de 27+4 semanas (rango entre 23 y 41 + 5 semanas), siendo la mayoría de los recién nacidos evaluados menor de 28 semanas de edad gestacional (n = 121, 62%). La mediana de peso del recién nacido fue de 1155 gramos (rango entre 477 y 5005g). Las evaluaciones ecocardiográficas se realizaron a una edad mediana de 6 días (entre 1 y 147 días) de vida. (Tabla 1)

La tabla 2 muestra las edades gestacionales de los neonatos evaluados; como se puede apreciar el 62% de los pacientes evaluados fueron neonatos prematuros extremos, menores de 28 semanas de edad gestacional. Hay un número significativo de pacientes mayores de 39 semanas de edad gestacional (9% de la población estudiada) los cuales fueron evaluados en su mayoría por hipertensión pulmonar persistente, niños con asfixia perinatal, entre otros.

El diagnóstico más común al ingreso de estos pacientes fue prematuridad y síndrome de distrés respiratorio (n= 153, 77%), 15 pacientes (8%) ingresaron con un diagnóstico primario de encefalopatía hipóxico isquémica; 12 (6%) pacientes tenían un diagnóstico primario de hipertensión pulmonar persistente y 8 (4%) ingresaron por enterocolitis necrotizante o sepsis con inestabilidad hemodinámica. 11 pacientes (5%) tuvieron otros diagnósticos. (Gráfico 1)

Tabla 1. Características de los pacientes (n=199)

	Mediana	Rango Intercuartil	Mínimo-Máximo
Edad Gestacional (semanas)	27.6	25.7-33.8	23.0-41.7
Peso al nacer (gramos)	1155	900-2386	477-5005
Edad al momento de la ecocardiografía (días)	6	2-23	1-147
Número de ecocardiografías por paciente	2	1-3	1-15

Tabla 2. Número de pacientes según edad gestacional

Edad Gestacional (semanas)	Número	Porcentaje
23-24	31	16%
25-26	51	26%
27-28	39	20%
29-30	13	6%
31-32	8	4%
33-34	15	7%
35-36	11	5%
37-38	14	7%
> 39	17	9%

Diagnóstico Principal

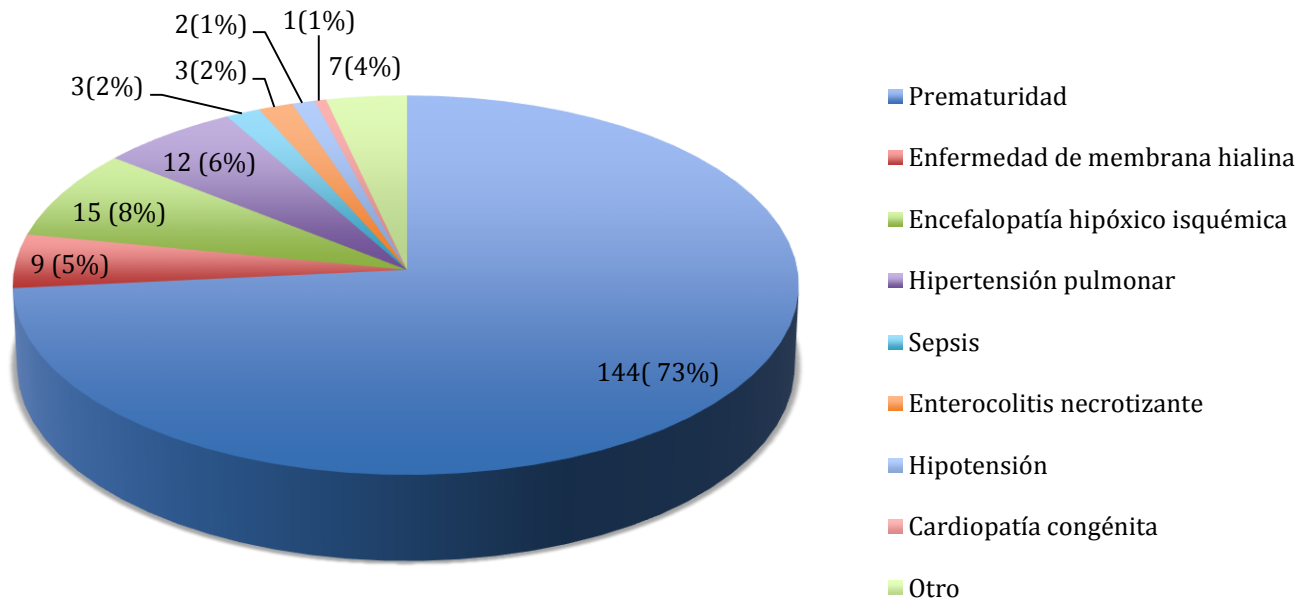


Gráfico 1: Diagnóstico Principal

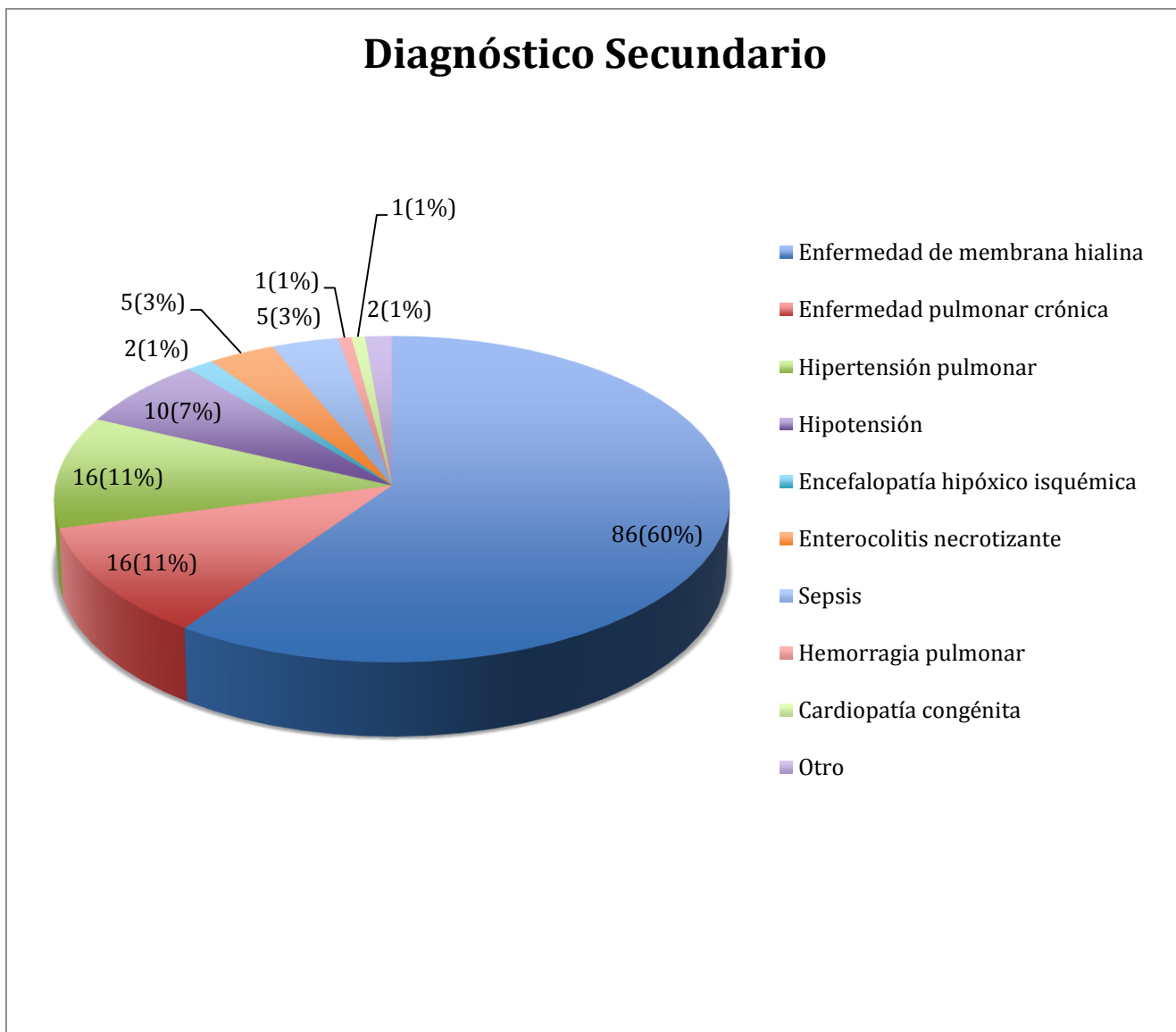


Gráfico 2. Diagnóstico Secundario

El gráfico 2 muestra los diagnósticos secundarios de los pacientes a los que se realizó ecocardiografía dirigida. El primero fue enfermedad de membrana hialina en 86 pacientes (59.7%), seguido de enfermedad pulmonar crónica en 16 pacientes (11.1%) e hipertensión pulmonar en 16 pacientes (11.1%), hipotensión en 10 pacientes (6.9%), entre otros.

Indicación de Ecocardiografía

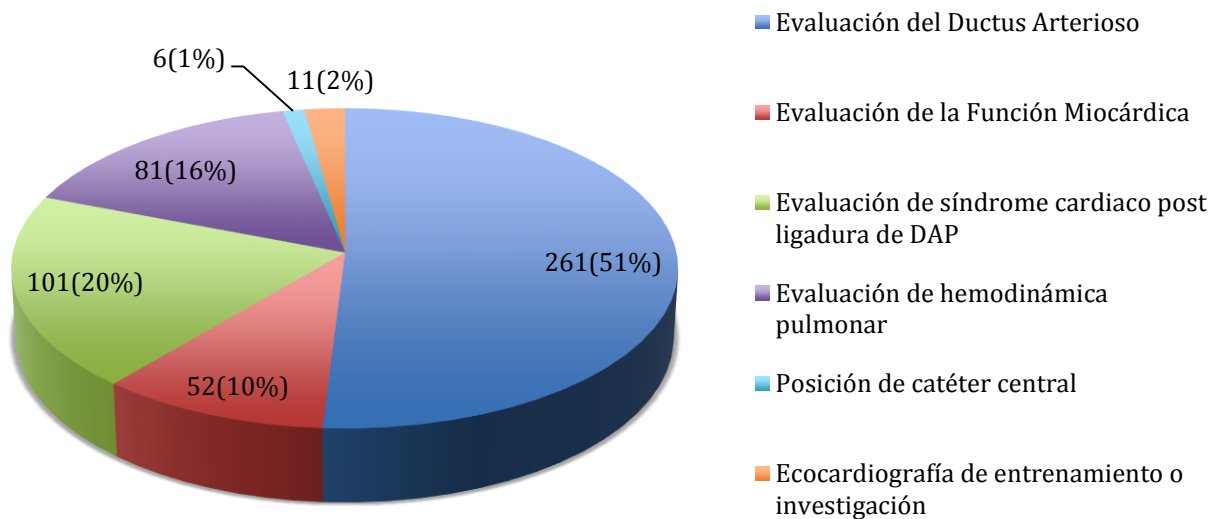


Gráfico 3. Indicación de Ecocardiografía

El gráfico 3 muestra la indicación de consulta al equipo de TnECHO. La mayoría de ecocardiografías fueron realizadas para la evaluación del ductus arterioso persistente o para poder guiar el soporte cardiocirculatorio posterior a la ligadura del ductus. Algunas de las 261 (51%) ecocardiografías realizadas para evaluar DAP, eran para diagnóstico de éste, otras para seguimiento luego de tratamiento con AINEs o como evaluación previa a ligadura del DAP. La figura 27 muestra dos imágenes de la evaluación de un paciente con ductus arterioso persistente, quien posterior a la realización de ecocardiografía recibió tratamiento con AINEs para el cierre del DAP. La figura 28 muestra otra forma de evaluar la presencia de un DAP, utilizando el doppler pulsado. En la imagen superior se observa la turbulencia que causa el flujo entrante del DAP en la arteria pulmonar, mientras que la imagen inferior muestra un

flujo pulmonar en que no se aprecia un DAP. Estas imágenes son de distintos pacientes.

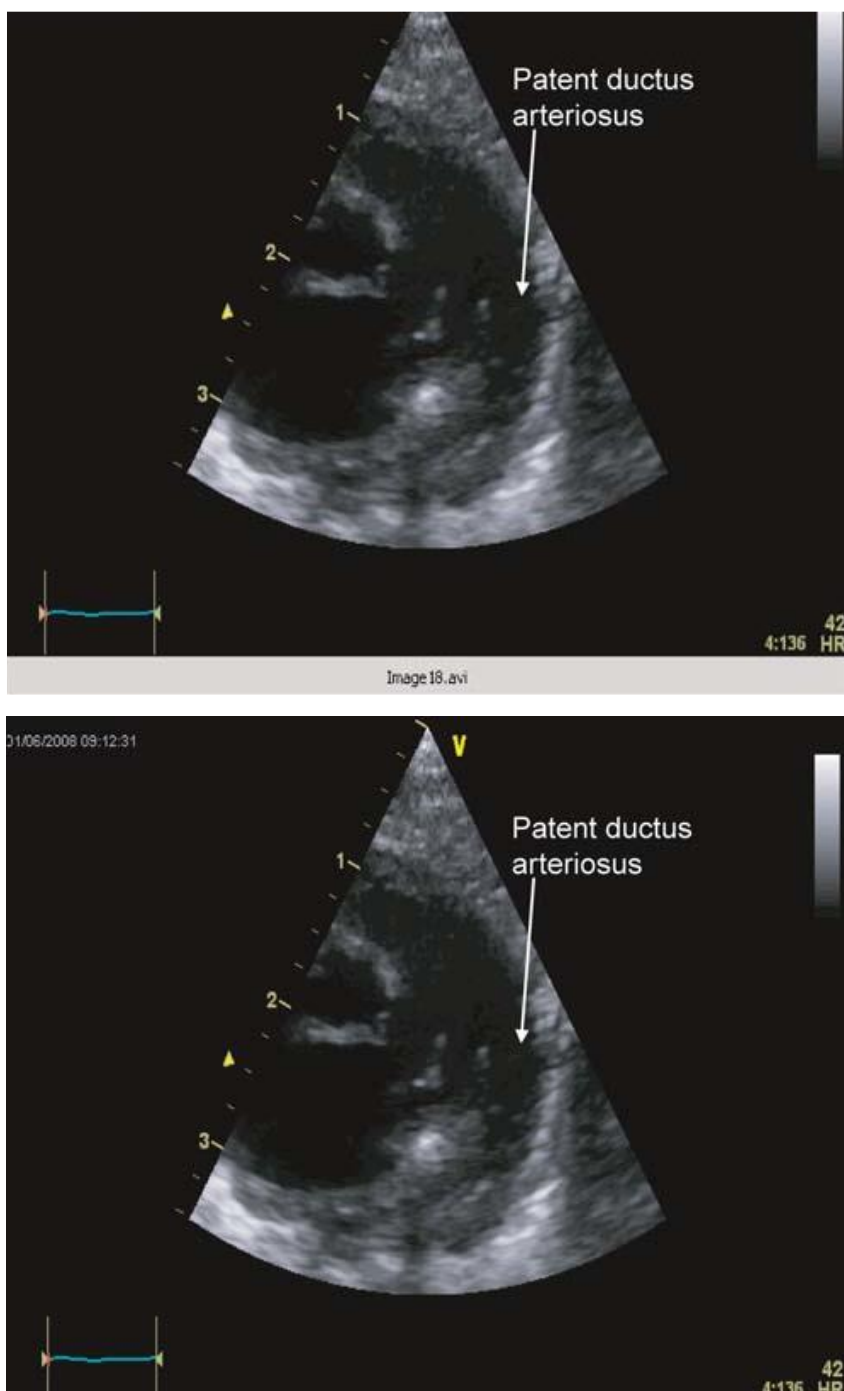


Figura 27. Imágenes de ductus arterioso persistente en 2D (panel superior) y doppler, en flujo rojo (panel inferior)

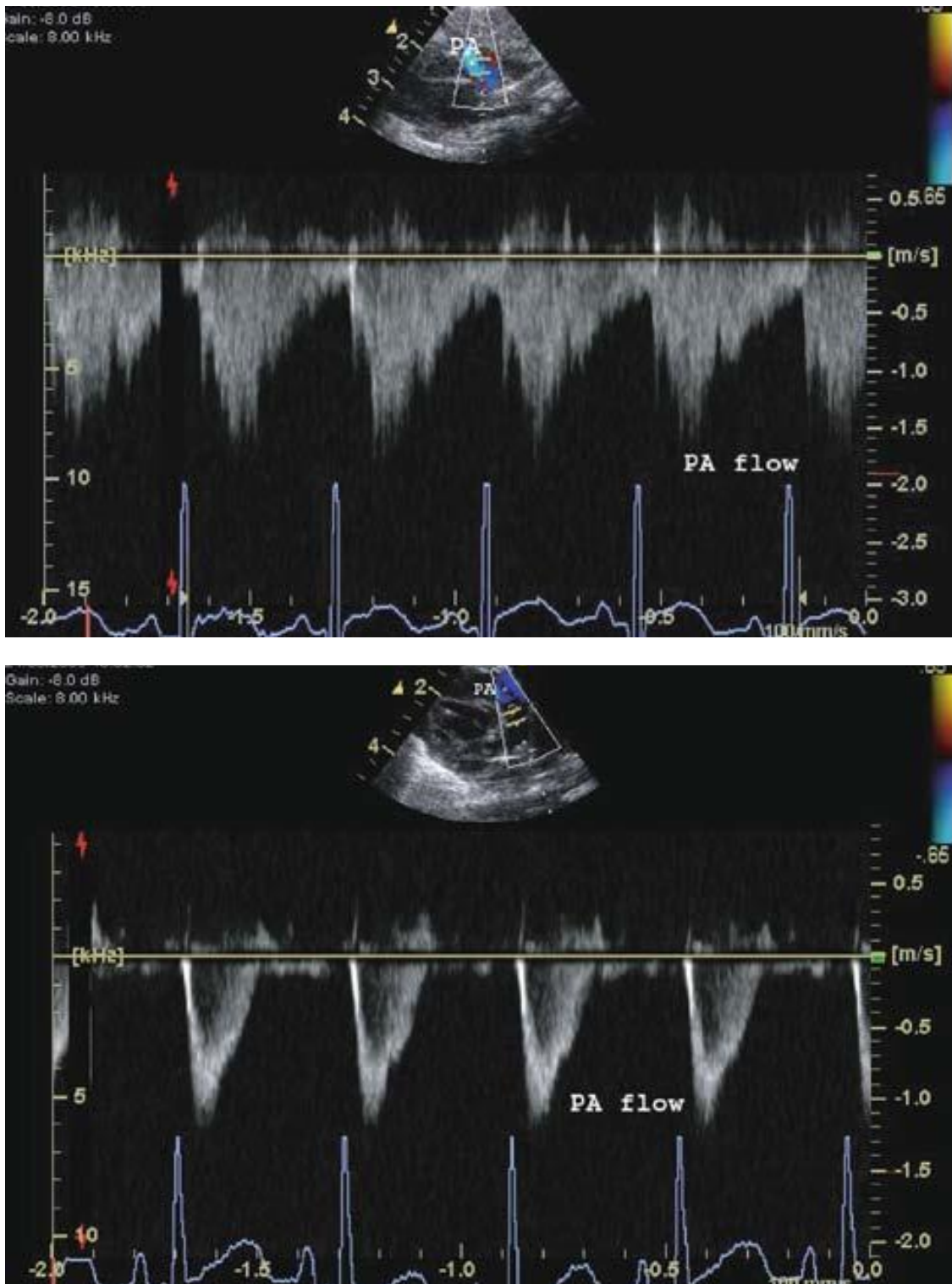


Figura 28. Doppler pulsado de la arteria pulmonar en un recién nacido con un DAP significativo (arriba), que muestra flujo turbulento sistólico y diastólico. La imagen inferior muestra un flujo laminar en la arteria pulmonar luego del cierre del DAP.

La figura 29 muestra el doppler pulsado que se realiza en la aorta descendente como parte de la evaluación del DAP, para definir si se trata de un DAP hemodinámicamente significativo, con lo comúnmente llamado “robo diastólico”. En la imagen superior se aprecia flujo invertido en diástole. En la imagen inferior, de otro paciente se aprecia un flujo normal en aorta descendente. La figura 30 muestra el doppler pulsado a través de la válvula mitral para evaluar el cociente e/a. Se aprecia un cociente >1 , que se puede observar en pacientes con DAP hemodinámicamente significativo. El pico e representa el flujo pasivo de la aurícula izquierda al ventrículo izquierdo, mientras que el a representa el flujo transmitral con contracción auricular. En condiciones normales, un recién nacido prematuro, tiene un cociente e/a menor a 1, dado que gran parte del flujo de sangre transmitral se da con contracción auricular, dada la inmadurez del miocardio ventricular, que es poco distensible. En casos de DAP significativos, al haber un mayor flujo sanguíneo al pulmón, habrá un mayor retorno de sangre a la aurícula izquierda, lo cual tendrá como consecuencia un mayor flujo transmitral pasivo, y por ende un incremento en el cociente e/a. En esta figura se muestra un cociente mayor de 1 en un recién nacido con DAP.

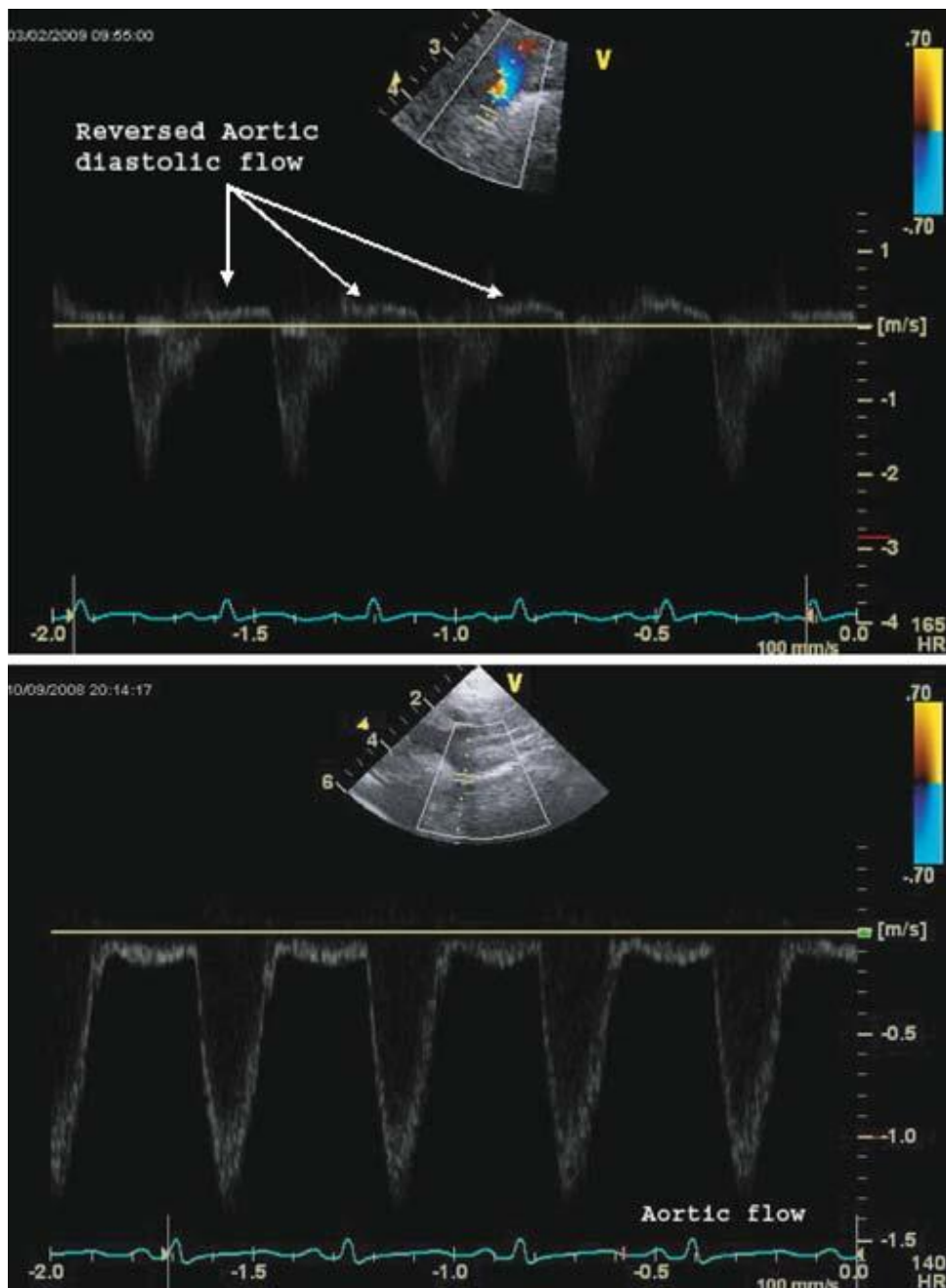


Figura 29. Doppler pulsado de la aorta descendente en un neonato con DAP hemodinámicamente significativo que muestra flujo reverso en diástole (arriba). Flujo aórtico normal tras el cierre del ductus (abajo).

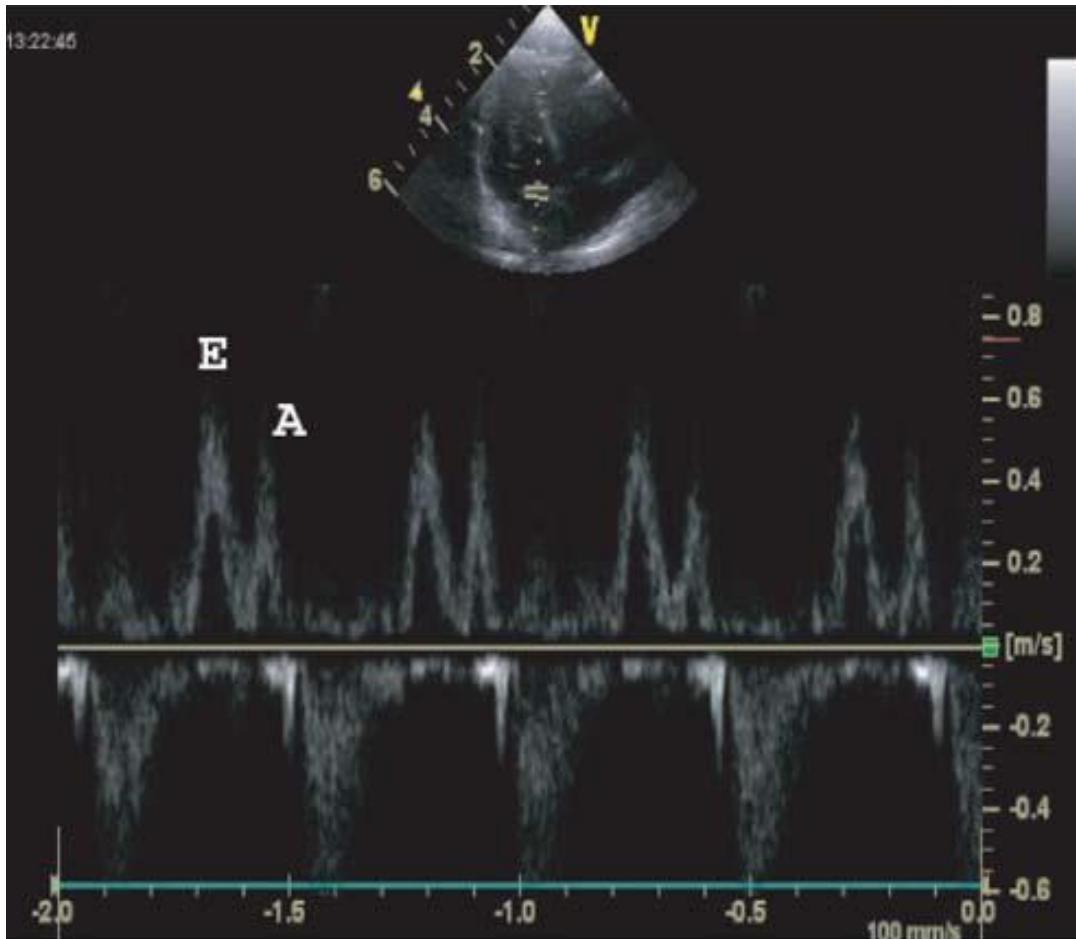


Figura 30. Flujo doppler transmitral que muestra cociente e/a >1 en un paciente con ductus arterioso significativo.

En la figura 31, como parte de la evaluación del DAP, se aprecia la imagen superior con flujo diastólico ausente en la arteria mesentérica superior en un recién nacido con DAP hemodinámicamente significativo. En la imagen inferior se aprecia un flujo diastólico normal tras el cierre quirúrgico del DAP. En la figura 32 se aprecia otra imagen de flujo diastólico invertido en diástole en un caso de DAP hemodinámicamente significativo.

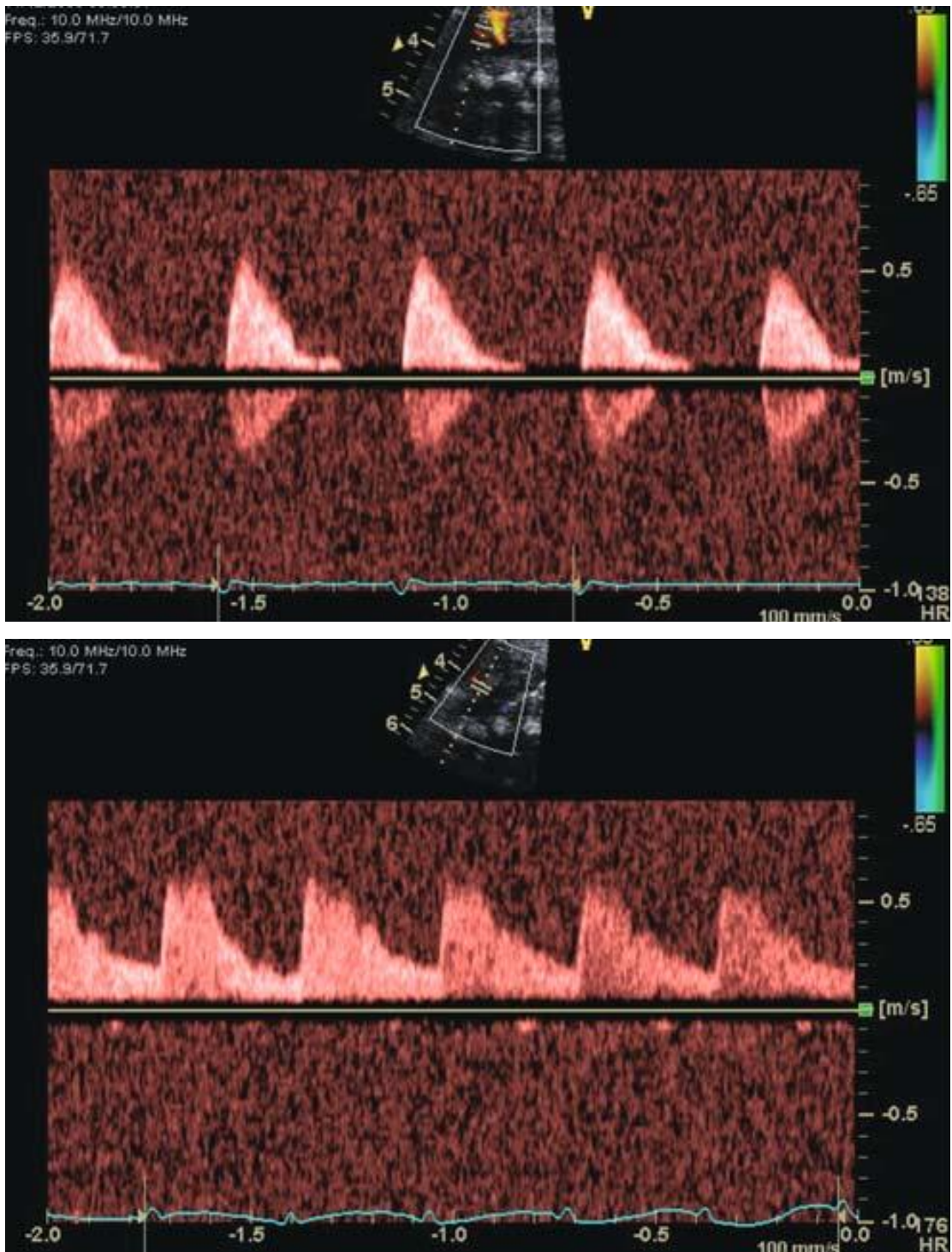


Figura 31. Doppler pulsado de arteria mesentérica superior que muestra un flujo diastólico ausente (arriba) en el contexto de un ductus hemodinámicamente significativo y un flujo diastólico normal (abajo) luego del cierre quirúrgico del ductus.

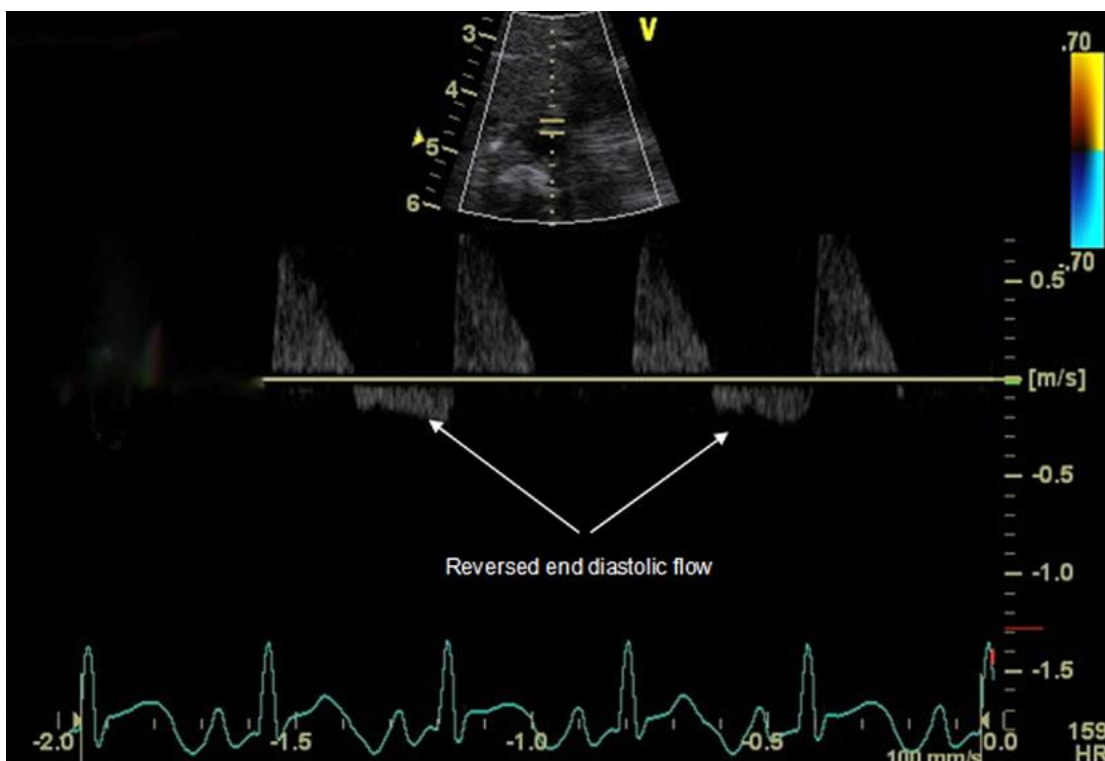


Figura 32. Doppler pulsado que muestra flujo invertido en diástole en la arteria mesentérica superior en ductus arterioso persistente.

La siguiente indicación de TnECHO fue para evaluar si existía un síndrome cardíaco post ligadura de DAP en 101 ecocardiografías (19.7%), evaluación de hemodinámica pulmonar en 81 (15.8%) de las ecografías y evaluación de función miocárdica en 52 (10.2%) de las ecografías realizadas, entre otras indicaciones. La figura 33 muestra la imagen ecocardiográfica de evaluación del gasto cardíaco izquierdo. El 19.7% de las evaluaciones por TnECHO se realizaron para valorar la presencia de un síndrome cardíaco post ligadura de DAP. En el estudio de Jain et al⁷, realizado en nuestro servicio en HSC se vio que un gasto cardíaco izquierdo menor de 200ml/kg/min una hora tras la ligadura del DAP era un predictor altamente sensible de hipotensión sistémica y predecía la necesidad de inotropos. En la segunda época del estudio, se inició una infusión de milrinona endovenosa en pacientes con GC izquierdo < 200ml/kg/min para prevenir la aparición de PLCS. Este estudio mostró que el uso de la ecocardiografía a pie de cama luego de la intervención quirúrgica para el cierre de

DAP es útil para detectar a los pacientes con alto riesgo de un deterioro cardiorrespiratorio para así iniciar tratamiento profiláctico con milrinona. El uso de milrinona redujo el riesgo absoluto de PLCS en 0.31 (IC 95% 0.06-0.52), teniendo un número necesario para tratar (NNT de 3).

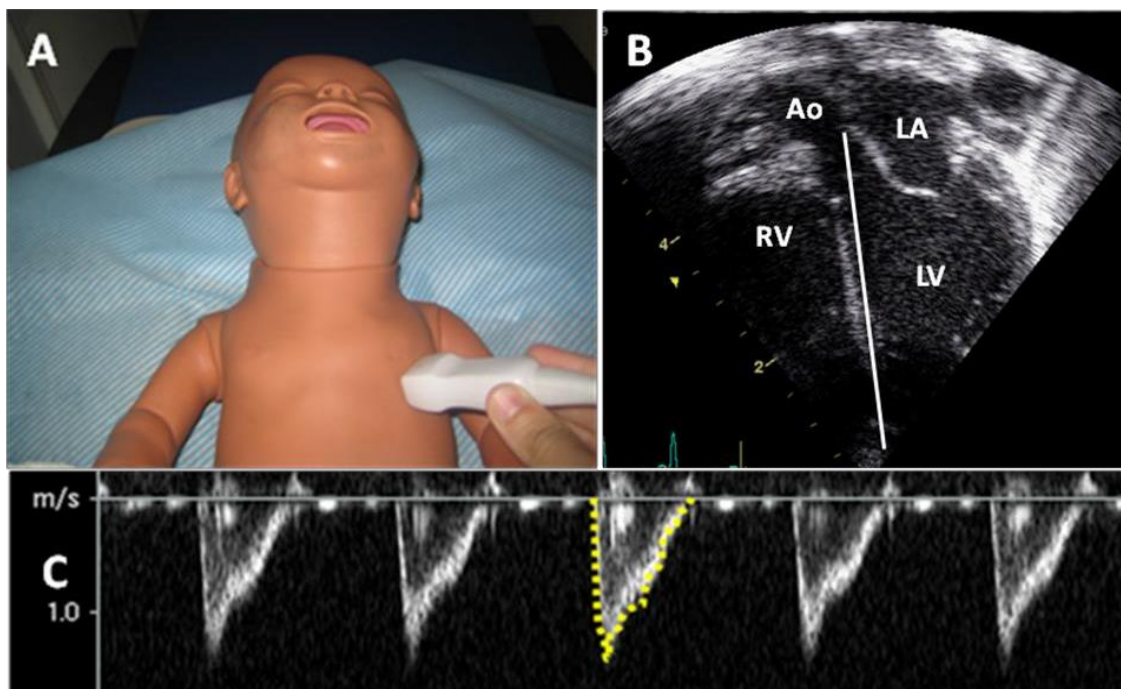


Figura 33. Estudio de gasto cardiaco izquierdo. En el panel C se calcula el VTI en aorta.

Tabla 3. Consecuencia luego de realización de TnECHO

	Número	Porcentaje
Cambio en el manejo	212	41.4%
Evitó intervención planificada	112	21.9%
Monitorización de respuesta a terapia	88	17.2%
Diagnóstico inesperado	31	6.1%
No reveló nada nuevo	69	13.5%

La tabla número 3 muestra los resultados que ocurrieron en las siguientes 6 horas luego de la consulta al equipo de TnECHO. La ecocardiografía dirigida llevó a un cambio en el manejo del paciente en 212 consultas (41% de los casos); la mayoría de

estos cambios estuvo en relación con la elección del inotropo en casos de hipotensión y el seguimiento o manejo del ductus arterioso persistente. Además se evitó una intervención previamente planeada tras 112 interconsultas (22% del total de consultas de TnECHO). 88 consultas (17%) se realizaron para monitorizar respuesta al tratamiento iniciado. Se encontró un diagnóstico no esperado en 31 ecocardiografías (6% de los casos).

Tabla 4. Intervenciones específicas luego de la TnECHO

	Número	Porcentaje
Guió terapia con inotropos	120	40%
Ligadura quirúrgica del DAP	56	18%
Tratamiento de DAP con AINEs	50	16%
Bolo de fluidos	35	12%
Guía para terapia con óxido nítrico	31	10%
Tratamiento con diuréticos/otros	13	4%

La tabla número 4 muestra las intervenciones específicas luego de la TnECHO. La realización de la ecocardiografía contribuyó para guiar la terapia con inotropos en 120 oportunidades (40% de las ecografías realizadas) y para tomar la decisión de utilizar AINEs en pacientes con DAP en 50 (16%). Además luego de realizar las TnECHOs, se identificó la necesidad de administrar bolo de fluidos en 35 ecocardiografías (12%) y tratamiento con diuréticos en 13 (4%). Además contribuyó en la decisión de ligadura del DAP en 56 (18%) y para guiar la terapia con óxido nítrico en 31 (10%).

6. Discusión

El uso de la ecocardiografía dirigida para guiar el manejo cardiovascular de los neonatos se ha vuelto una parte sumamente importante de la práctica médica en UCIN. En este estudio se describe por primera vez un servicio de TnECHO, dirigido por neonatólogos y la influencia de éste en la toma de decisiones para el manejo cardiovascular de los pacientes. Cuando se introdujo esta práctica en el HSC, en el año 2007, se solicitaron 8 estudios (en los últimos 4 meses del 2007), mientras que en el primer trimestre del año 2011 se realizaron 60 estudios. El incremento anual que se observó en las interconsultas al servicio de TnECHO sugiere que se está adoptando esta práctica como parte del manejo integral de los pacientes en UCIN.

En nuestro estudio identificamos cambios en decisiones clínicas que se tomaron con los pacientes que se asociaron temporalmente (en un plazo de 6 horas) con la realización de la TnECHO. Esto incluyó un cambio en el manejo en 40% de los pacientes y el evitar una intervención previamente planificada en un 20% de pacientes. La condición más comúnmente asociada a un cambio en el manejo fue el ductus arterioso persistente. Los cambios incluyeron suspender el tratamiento médico cuando se encontró un volumen de shunt bajo. En cuatro casos, se suspendió la ligadura del DAP que estaba planificada el mismo día del procedimiento. En estos casos, los pacientes regresaron a su UCIN primaria y no requirieron ninguna intervención posterior para el ductus. Además también se mostró que la TnECHO tiene un potencial rol en la monitorización de respuesta a tratamiento, como por ejemplo evaluar la respuesta a tratamiento con inotropos u óxido nítrico y ayudar a titular su dosis o su destete, así como evaluar la respuesta al tratamiento del DAP con AINEs.

Hubo además un número importante de diagnósticos no esperados. El más llamativo fue un caso de efusión pericárdica asintomática secundaria a la migración de un catéter central de inserción periférica (PICC). Tras el diagnóstico de esta efusión, el PICC fue retirado y se monitorizó la resolución de la efusión por medio de la TnECHO.

Varias publicaciones han destacado el rol de la TnECHO en la identificación de efusiones pericárdicas silentes secundarias a catéteres centrales mal posicionados. Si estos casos no se diagnostican o no son tratados a tiempo, podrían llevar a un taponamiento cardíaco y a muerte repentina.¹⁴⁰ Es importante entonces considerar la TnECHO como una herramienta útil para ser utilizada en el contexto, por ejemplo, de un colapso cardiorrespiratorio agudo o una parada cardiorrespiratoria. Weisz et al¹⁴¹ describen el caso de un neonato pretérmino que presenta hipotensión sistémica y bajo gasto cardíaco en sus primeras 24 horas de vida. En este caso se realiza una TnECHO a las 16 horas que mostró un catéter umbilical venoso mal posicionado, cuya punta estaba en la aurícula izquierda, creando así una comunicación interauricular (CIA) de 4.2mm con flujo izquierda a derecha. Se retiró el CUV bajo visión directa dejándolo en la unión de la vena cava inferior con aurícula derecha. Menos de 30 minutos después de reposicionar el catéter, la inestabilidad clínica y hemodinámica se resolvió, teniendo una presión arterial normal y un gasto cardíaco izquierdo normal. Este caso resalta la utilidad de la TnECHO en la UCIN.¹⁴¹

Hubo dos casos adicionales que suscitaron una interconsulta a cardiología pediátrica por sospecha de anomalías en la anatomía cardíaca, que se confirmaron posteriormente cuando se realizó la ecocardiografía anatómica completa. Esto también resalta la importancia de mantener una colaboración estrecha con el servicio de cardiología y de ser posible, tener un sistema integrado de imágenes para su revisión por los colegas cardiólogos.

En muchos centros, existe reticencia por parte de los cardiólogos en cuanto a la tendencia actual de que los neonatólogos realicen ecocardiografías a pie de cama. Esto se debe a la posibilidad de error en la obtención e interpretación de imágenes por parte de los neonatólogos, dado que se trata de un entrenamiento más corto que aquel que reciben los cardiólogos. Es de suma importancia tener claro, incluso protocolizado o estandarizado, cuando se debe recurrir a una TnECHO y cuando se necesita una evaluación anatómica completa por parte del servicio de cardiología pediátrica. Siempre que exista sospecha de cardiopatía congénita, se deberá interconsultar a cardiología pediátrica. Incluso, si consideramos que la prevalencia de cardiopatía congénita en la UCIN será de 2% a 4%, no parece lógico limitar el uso de esta

herramienta en la mayoría de nuestros pacientes de UCIN por el temor a un posible error en el diagnóstico de una minoría de pacientes, que serían los cardiópatas.¹⁴² La ecocardiografía funcional o TnECHO realizada por neonatólogos tiene indicaciones claras como son la evaluación del ductus arterioso persistente, del síndrome cardíaco post ligadura de ductus, del recién nacido con hipotensión y/o compromiso circulatorio, la evaluación de la respuesta al tratamiento de recién nacidos con altos requerimientos de oxígeno (hipertensión pulmonar), entre otros. Es sumamente importante mantener una colaboración cercana entre neonatólogos y cardiólogos pediatras pues esto redundará en beneficio del paciente.

Los resultados de nuestro estudio son comparables a la experiencia por parte de los intensivistas y anestesiólogos de adultos, quienes ya han incorporado el ultrasonido o ecocardiografía como parte de su práctica diaria. En una auditoría prospectiva del uso de ecocardiografía en la UCI de adultos, la ecocardiografía suscitó cambios en el manejo de los pacientes en un 51.2% de los estudios.¹⁹ Estos cambios fueron administración de fluidos, terapia con inotropos u otros medicamentos y limitación de algún tratamiento, similar a nuestra experiencia con TnECHO. Los autores concluyeron que la ecocardiografía podría tener un impacto significativo en el manejo de pacientes en la UCI. Otros estudios mostraron también que la ecocardiografía a pie de cama en la UCI es útil para identificar inestabilidad hemodinámica y para optimizar tratamiento^{19,31}. El uso de ecocardiografía por parte de los anestesiólogos también se ha visto que puede alterar diagnósticos, el curso clínico y el manejo de los pacientes.^{45, 143} Un estudio prospectivo que investigó el efecto de la ecocardiografía transtorácica dirigida en pacientes con sospecha de enfermedad cardíaca también mostró la utilidad de esta herramienta. Cuando se comparó el examen clínico solamente con el uso de ecocardiografía, se vio que hubo un cambio en el diagnóstico en un 67% de pacientes y el plan de manejo cambió en un 44% de pacientes. En general, se ha demostrado que la ecocardiografía mejora el diagnóstico clínico y el manejo de pacientes en la UCI y en emergencia, sobre todo el manejo de pacientes con disfunción cardíaca.^{6, 24, 26, 144}

En la última década ha habido un incremento en el uso de ecocardiografía realizada por neonatólogos en el mundo. ⁵⁶ En el año 2000, Evans realizó una encuesta en

Australia y Nueva Zelanda para establecer el número de UCIN donde los neonatólogos realizaban ecocardiografías; encontró que el 41% de las unidades encuestadas contaba con neonatólogos que eran los principales encargados del servicio de ecocardiografía.⁵⁵ Estas cifras han ido en aumento a lo largo de los últimos años. A la cabeza, están las unidades en Australasia; aproximadamente el 90% de las UCIN tienen personal entrenado en la realización de ecocardiografía funcional a pie de cama.¹⁴⁵ En Europa, ha habido un interés creciente en la TnECHO, sin embargo, la utilización de esta herramienta aún no asemeja a las prácticas actuales en Australia o Nueva Zelanda. Roehr et al realizaron una encuesta publicada en el 2013.¹⁴⁶ Se envió la encuesta a 45 UCIN elegidas al azar en 17 países europeos. Obtuvieron respuesta de 40 unidades (89%). Había neonatólogos con conocimientos o habilidades de ecocardiografía en 29 de las unidades (73%), sin embargo en la mayoría de unidades, los cardiólogos eran los encargados de las evaluaciones ecocardiográficas. 31 UCIN (78%) contaban con un servicio de ecocardiografía las 24 horas del día. La encuesta mostró que la ecocardiografía funcional se utilizaba ampliamente en las diferentes unidades en Europa, sin embargo, no existe un entrenamiento ni acreditación formal, lo cual fue percibido como algo preocupante por parte de los autores. A pesar de los posibles beneficios que brindaría la TnECHO, la variabilidad en la práctica de ésta y la falta de estándares, fue considerada como un limitante en la adopción de esta herramienta.¹⁴⁶ Para sorpresa de los autores, no sólo se vio variabilidad entre las prácticas entre distintos países, sino también entre diferentes instituciones dentro del mismo país.

En Estados Unidos de América, la disponibilidad de esta herramienta es limitada y mucho menor que en Europa y Australia. En 2014 Schachinger et al¹²⁸ publicaron una encuesta anónima realizada a los directores de la mayoría de unidades de cuidados intensivos neonatales en EEUU. Tuvieron una tasa de respuesta del 43.7% (247 de las 565 encuestas enviadas) entre las cuales estaban el 95% de centros con programas de formación en neonatología y medicina perinatal. El 9% de las UCIs que respondieron la encuesta contaba con un neonatólogo con entrenamiento en ecocardiografía, 8% de los programas de formación en neonatología ofrecían la posibilidad de entrenamiento

en ecocardiografía funcional. A la luz de este estudio, se observa que el uso y entrenamiento en TnECHO en Estados Unidos de América es poco prevalente.

Como hemos visto, en diferentes partes del mundo, la TnECHO es una herramienta que se está utilizando cada vez más en las UCIN como parte de los cuidados estándar, aunque aún no existe evidencia clara del beneficio de su uso en el resultado de los pacientes. Hay algunos estudios prospectivos que destacan los potenciales beneficios de la TnECHO para identificar compromiso cardiocirculatorio y guiar el manejo cardiovascular de los neonatos. El estudio de O'Rourke et al demostró que un programa de tamizaje para DAP en el tercer día de vida de pacientes prematuros, llevó a una identificación más temprana de pacientes con DAP hemodinámicamente significativo y llevó por ello a una intervención más oportuna. Muy interesante fue el hallazgo de una reducción en la tasa de hemorragia intraventricular severa y la duración de ventilación mecánica.¹⁰ El estudio DETECT fue un estudio aleatorizado de tratamiento temprano del DAP con indometacina. Este estudio mostró que el tratamiento temprano, basado en el diámetro del DAP, redujo la hemorragia pulmonar.⁸⁶ El estudio de Carmo et al ⁹⁵ mostró que la TnECHO seriada realizada después de cada dosis de indometacina, llevó a una disminución del número de dosis de indometacina en pacientes con DAP, sin incrementar el riesgo de una ligadura quirúrgica posterior. En el estudio de Bravo et al⁹⁶, se vio que el uso de TnECHO seriado después de cada dosis de ibuprofeno podría ser útil para minimizar el número de dosis de AINEs para lograr el cierre del DAP. En el Hospital for Sick Children (HSC), la introducción de un sistema de triaje para ductus arterioso basado en evaluación completa por TnECHO, se asoció a una reducción del 50% de las ligaduras quirúrgicas de DAP ¹⁴⁸. Además la introducción de una evaluación ecocardiográfica de tamizaje una hora post-ligadura del DAP llevó a una reducción significativa de la inestabilidad cardiorrespiratoria post operatoria, entidad conocida como síndrome cardíaco post-ligadura.⁵

Recientemente se publicó un estudio realizado en Calgary, Canadá, similar al nuestro, pero realizado en un centro perinatal de nivel 3. Concluyen que la TnECHO es una herramienta valiosa para la evaluación y manejo de problemas hemodinámicos neonatales. En este estudio se encontró que el 41.5% de las ecocardiografías

realizadas resultaron en cambios en el manejo de los pacientes. Se observó que aproximadamente la mitad de las ecocardiografías realizadas en la primera semana de vida resultaron en cambios en el manejo de los pacientes, en comparación con un 22% de cambios cuando la TnECHO se realizó a partir de la segunda semana de vida. Esto esté probablemente en relación con que la mayoría de los cambios observados fueron en relación con el diagnóstico y manejo del DAP.¹⁴⁹

Corredera et al realizaron un estudio similar al nuestro en España, publicado en el año 2014¹⁵⁰. Su objetivo fue evaluar la frecuencia de uso, indicaciones, y repercusión del uso de la TnECHO en un año en una UCIN española. Se realizaron 168 ecocardiografías en 50 pacientes. Las indicaciones más frecuentes fueron la valoración del ductus (58,3%) seguida de la inestabilidad hemodinámica (22,2%). El resultado de la ecografía modificó el tratamiento en 62 casos (36,9%).

En los últimos años, el uso de TnECHO en las unidades de cuidados intensivos neonatales se ha ido expandiendo progresivamente; es por ello que surge la necesidad de asegurar que exista un entrenamiento completo o estandarizado y que las ecocardiografías se realicen en el contexto de guías de práctica clínica estándar, teniendo sistemas de seguridad y calidad para asegurar que esta práctica se realice correctamente y sin poner en riesgo a los pacientes. En el año 2011, la Sociedad Americana de Ecocardiografía publicó una guía donde se establece un marco de estandarización del entrenamiento para neonatólogos y para regular la práctica clínica de ecocardiografía en la UCIN.¹⁵¹ Esta guía representa una iniciativa de colaboración entre neonatólogos y cardiólogos pediatras y propone una serie de habilidades base y avanzadas necesarias para tener la competencia de realizar exámenes ecocardiográficos completos.

El programa de formación en TnECHO en el Hospital for Sick Children ha ido refinándose progresivamente y actualmente se adhiere a los principios propuestos en esta guía. Desde el año 2012, es un programa de entrenamiento en colaboración con el equipo de cardiología pediátrica, en el que los médicos neonatólogos en entrenamiento rotan durante un periodo de tiempo en el laboratorio pediátrico de ecocardiografía para adquirir las habilidades de obtención de imágenes básicas.

Cuando adquieren un nivel de pericia o competencia en la obtención de imágenes básicas, reciben entrenamiento en la metodología de TnECHO y como ésta se debe integrar al estado clínico del paciente para así poder tomar decisiones en cuanto a la situación cardiovascular del paciente en UCIN. Además, el programa de TnECHO también contempla el archivo de las imágenes dentro del sistema de archivos y reportes de cardiología pediátrica, de manera que se facilita la colaboración por parte de los cardiólogos y neonatólogos. Esto ha ayudado a que surjan nuevas iniciativas de investigación colaborativa en este campo.

Aunque es claro que se necesita entrenar a más neonatólogos en el mundo, las oportunidades de entrenamiento formal son muy limitadas. De hecho, ha habido una falta de estandarización en el entrenamiento así como en la evaluación o medición del mantener la competencia de ecocardiografía neonatal dirigida. Una encuesta realizada en Canadá¹⁵², mostró que la TnECHO es una prioridad en la práctica clínica en UCIN, sin embargo, se vio que el entrenamiento era disímil en los diferentes centros. Los neonatólogos con experiencia en el campo, reconocieron que la necesidad de estandarización en el entrenamiento y asegurar la calidad de la prestación es sumamente importante.

En Australasia, ya se han dado los primeros pasos hacia una currícula estructurada y una formación estándar con evaluaciones formales, estableciendo una certificación de Ultrasonido realizado por el clínico (Clinician-Performed Ultrasound, CPU). Ellos adoptan el nombre de CPU o Neonatal CCPU (neonatologist clinician performed cardiac ultrasound) pues opinan que el término “dirigido” (del inglés targeted) como se le denomina de acuerdo a la guía de la Sociedad Americana de Ecocardiografía publicada en el 2011, resta importancia a la realización de un examen completo por parte del neonatólogo. Además refieren que el uso del término ultrasonido cardiaco o ecocardiografía sería sólo una parte de lo que es el Neonatal CCPU, que da un enfoque más amplio a la evaluación pues incluye el órgano estudiado así como el hecho de que sea realizado por un operador clínico.¹⁵³

Evans y Kluckow¹⁵⁴ también expresan su preocupación en cuanto a los requerimientos básicos que propone la guía de la Sociedad Americana de Ecocardiografía, 4 a 6 meses de rotación por un laboratorio de ecocardiografía de

cardiología pediátrica y el número y tipo de estudios necesarios para obtener la pericia básica, pues como neonatólogos, esos no son los pacientes con los que trabajamos. La grandísima mayoría de ecocardiografías neonatales (98%) tienen una estructura cardíaca normal con una función anormal, que como neonatólogos nos interesa seguir de manera longitudinal y en tiempo real para poder así dirigir o adecuar nuestro manejo y monitorizar la respuesta a este.¹⁵⁴

En el estudio de Roehr et al ¹⁴⁶ destaca la falta de entrenamiento formal o acreditado en TnECHO en Europa. En las unidades encuestadas, el entrenamiento se realizaba como pasantías o rotaciones con colegas con experiencia en el campo, en su mayoría cardiólogos pediatras. Muchos de los neonatólogos encuestados concordaban en la necesidad de desarrollar estándares comunes para el entrenamiento y acreditación de la TnECHO. Se planteaba que se debiera diseñar un programa de entrenamiento europeo en TnECHO que mejore el cuidado de los pacientes y de algún modo proteja al clínico que realiza las ecocardiografías y que este programa debiera tener la acreditación de los colegios o asociaciones de pediatría y neonatología en Europa. Se plantea también que este programa podría ser introducido como parte de las competencias que debe adquirir un neonatólogo durante su entrenamiento en la subespecialidad de Neonatología en Europa. ¹⁵⁵

Nuestros resultados sugieren un efecto beneficioso del uso de TnECHO en la práctica clínica, sin embargo, debemos reconocer las limitaciones que tiene. Primero, aunque existe una relación temporal estrecha entre el momento de la realización de la TnECHO y los cambios ocurridos, se trata de un estudio retrospectivo, por lo que no es posible determinar con certeza si los cambios hubieran ocurrido de cualquier forma, incluso sin tener la información de la TnECHO. En segundo lugar, los médicos que solicitaron la interconsulta de TnECHO podrían tener un sesgo inherente a implementar los cambios en respuesta a la información brindada por el estudio, pues ellos solicitan la prueba para ayudar en el manejo del paciente. Finalmente, este estudio no es representativo de todos los neonatos que podrían requerir una consulta de TnECHO. El HSC es un hospital de referencia cuaternario, y no un centro materno-perinatal, por lo cual la población del HSC es singular. Se trata de pacientes muy complejos referidos de otros centros (incluso centros terciarios) para manejo. Es por

ello que no tenemos en nuestra serie de casos un seguimiento de prematuros pequeños en sus primeros días de vida, dado que la mayoría de pacientes prematuros en HSC son pacientes que llegan referidos ante complicaciones en su evolución, como un DAP que no cerró con tratamiento médico, situaciones quirúrgicas como NEC, entre otros. Son pocos los pacientes prematuros que llegan al HSC en sus primeros días de vida. Es por ello que un gran porcentaje de las evaluaciones (19.7%) se realizaron como parte del estudio post operatorio, tras ligadura del DAP así como también tenemos un gran número de evaluaciones de pacientes con sospecha de hipertensión pulmonar (15.8%).

También debemos considerar que si bien nuestro estudio parece indicar un efecto beneficioso del uso de TnECHO, no podemos sacar ninguna conclusión en cuanto a los resultados de dichos pacientes a mediano o largo plazo.

A pesar de no haber estudios que muestren un efecto beneficioso del uso de TnECHO en los resultados de los neonatos a mediano o largo plazo, si consideramos la alta morbilidad asociada al compromiso cardiovascular en la etapa neonatal, y la inocuidad del uso de la ecocardiografía, su uso parece entonces inevitable.

En las últimas décadas, ha habido múltiples esfuerzos para definir hipotensión neonatal e intentar definir criterios clínicos para intervenciones terapéuticas apropiadas. Se sabe que la presión arterial está en relación con la edad gestacional y postnatal, sin embargo existe controversia en cuanto a los rangos de normalidad de ésta. Algunos autores sugieren que la definición de hipotensión debería considerar no sólo la presión arterial sino el flujo sanguíneo a los órganos, sobre todo al cerebro, pues la importancia de definir hipotensión arterial radica en el momento en que el flujo a los órganos se ve comprometido y por ende la función celular alterada, o incluso el momento en que puede ocurrir un daño permanente. Los signos clínicos utilizados actualmente como la taquicardia, el flujo urinario disminuido o la escasa actividad espontánea del recién nacido tienen una baja especificidad para identificar o predecir compromiso cardiovascular, sobre todo en el primer día de vida. Es por ello que algunos autores sugieren que se debiera utilizar la ecocardiografía para definir cuando existe una situación de hipotensión que puede alterar la perfusión de los órganos y entonces tomar medidas terapéuticas.^{156, 157} El tener información acerca del

flujo sanguíneo nos ayuda a tomar decisiones más informadas en cuanto a los requerimientos de medicación inotrópica o vasopresora y qué medicina es la más apropiada según el escenario del paciente. Habrá casos en que el paciente se presente con una vasoconstricción periférica y un gasto cardiaco bajo por disfunción miocárdica en que sería ideal un inotropo con algo de efecto vasodilatador periférico, como la dobutamina o milrinona y otros casos en que el paciente presente vasodilatación periférica con un gasto cardiaco alto, como en casos de shock séptico, en cuyo caso se beneficiará del uso de dopamina (efecto vasoconstrictor).

Además la ecocardiografía tiene gran utilidad para el seguimiento de estos pacientes y la evaluación al tratamiento instaurado.

Si tenemos en cuenta la dificultad que tenemos para obtener información invasiva hemodinámica en nuestra población y la dificultad en entender y monitorizar la transición circulatoria que ocurre en las primeras horas o días de vida, el uso de la ecocardiografía dirigida toma gran importancia. Obtendremos información de la fisiología y la función en tiempo real y así podremos dirigir el manejo de nuestros pacientes y monitorizarlo longitudinalmente utilizando esta herramienta.¹⁵⁸

Aunque la ecocardiografía neonatal no puede responder todas nuestras preguntas acerca del estado hemodinámico de nuestros pacientes, nos da mucha más información de la que antes ha estado a nuestro alcance, y así permite dar un manejo individualizado según la situación hemodinámica específica de cada niño.¹⁴²

7. Conclusiones

1. La evolución de un servicio consultor de TnECHO en nuestro hospital, llevó a cambios clínicos en el manejo de los pacientes en un gran número de casos, que parecen ser de beneficio para los pacientes.
2. El uso de la TnECHO debe ser regulado adecuadamente en el marco de una estructura segura con una colaboración estrecha entre neonatólogos adecuadamente entrenados y cardiólogos pediátricos.
3. Es responsabilidad nuestra, de los neonatólogos con pericia o habilidad en ecocardiografía, continuar investigando y desarrollando más conocimientos en este ámbito para mostrar el impacto del uso de esta herramienta en el cuidado de nuestros pacientes y sus resultados a futuro

Bibliografia

¹ Prinz C, Voigt JU. Diagnostic accuracy of a hand-held ultrasound scanner in routine patients referred for echocardiography. *J Am Soc Echocardiogr*. 2011; 24: 111-116.

² Moore CL, Copel JA. Point-of-care Ultrasonography. *N Engl J Med* 2011; 364: 749-57.

³ Platz E, Solomon SD. Point-of-care echocardiography in the accountable care organization era. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2012; 5: 676-682.

⁴El-Khuffash AF, McNamara PJ. Neonatologist-performed functional echocardiography in the neonatal intensive care unit. *Semin Fetal Neonatal Med* 2011; 16 (1): 50-60.

⁵ Jain A, Sahni M, EL-Khuffash A, Khadawardi E, Sehgal A, Mc Namara PJ. Use of targeted neonatal echocardiography to prevent pstoperative cardiorespiratory instability after patent ductus arteriosus ligation. *J Pediatr* 2012; 160 (4): 584-589.

⁶ Marcelino PA, Marum SM, Fernandes AP, Germano N, Lopes MG. Routine transthoracic echocardiography in a general intensive care unit: an 18 month survey in 704 patients. *Eur J jIntern Med* 2009; 20(3):e37-e42.

⁷ Cowie B. Three years'experience of focused cardiovascular ultrasound in the peri-operative period. *Anaesthesia* 2011; 66: 268-273.

⁸ Labovitz AJ, Noble VE, Bierig M, Goldstein SA, Jones R, Kort S, Porter TR, Spencer KT, Tayal VS, Wei K. Focused cardiac ultrasound in the emergent setting: a consensus statement of the american society of echocardiography and american college of emergency physicians. *J AM SocEchocardiogr* 2010; 23: 1225-30.

⁹ Sehgal A, McNamara PJ. Does point-of-care functional echocardiography enhance cardiovascular care in the NICU? *J Perinatal* 2008; 28 (11): 729-735.

¹⁰ O'Rourke DJ, EL-Khuffash A, Moody C, Walsh K, Molloy EJ. Patent ductus arteriosus evaluation by serial echocardiography in preterm infants. *Acta Paediatr* 2008; 97(5): 574-578.

¹¹ Edler I, Lindstrom K. The history of echocardiography. *Ultrasound Med Biol* 2004; 30: 1565-644.

¹² Royse CF, Canty DJ, Faris J, Haji DL, veltman M, Royse A. Core review: Physician-performed ultrasound: the time has come for routine use in acute care medicine. *Anesth Analg* 2012; 115: 1007-28.

¹³ Seward JB, Douglas PS, Erbel R, Kerber RE, Kronzon I, Rakowski H, Sahn LD, Sisk EJ, Tajik AJ, Wann S. Hand-carried cardiac ultrasound (HCU) device: recommendations regarding new technology. A report from the Echocardiography Task Force on new technology of the nomenclature and standards Committee of the American Society of Echocardiography. *J AM Soc Echocardiogr* 2002; 15: 369-73.

¹⁴ Hind D, Calvert N, McWilliams R, et al. Ultrasonic locating devices for central venous cannulation: metaanalysis. *BMJ* 2003; 327: 361-8.

¹⁵ Scalea TM, Rodriguez A, Chiu WC et al. Focused assessment with sonography for trauma (FAST): results from an international consensus conference. *J Trauma* 1999; 46: 466-72.

¹⁶ Kirkpatrick AW, Sirois M, Laupland KB, et al. Hand-held thoracic sonography for detecting post-traumatic pneumothoraces: the extended focused assessment with sonography for trauma (EFAST). *J Trauma* 2004; 57: 288-95.

- ¹⁷ Melanson SW. The FAST EXAM: a review of the literature. In: Jehle D, Heller MB, eds. *Ultrasonography in trauma: the FAST Exam*. Dallas: American College of Emergency Physicians, 2003: 127-45.
- ¹⁸ Haji DL, Royse A, Royse CF. Review article: Clinical impact of non-cardiologist-performed transthoracic echocardiography in emergency medicine, intensive care medicine and anaesthesia. *Emerg Med Australas* 2013; 25: 4-12.
- ¹⁹ Orme RMLE, Oram MP, McKinstry CE. Impact of echocardiography on patient management in the intensive care unit: an audit of district general hospital practice. *Br J Anaesth* 2009; 102: 340-4.
- ²⁰ Au SM, Vieillard-Baron A. Bedside echocardiography in critically ill patients: a true hemodynamic monitoring tool. *J Clin Monit Comput* 2012; 26: 355-360.
- ²¹ Stanko LK, Jacobsohn E, Tam JW, De Wet CJ, Avidan M. Transthoracic echocardiography: Impact on diagnosis and management in tertiary care intensive care units. *Anaesth Intensive Care* 2005; 33: 492-496.
- ²² Marik PE, Mayo P. Certification and training in critical care ultrasound. *Intensive Care Med* 2008; 34: 215-217.
- ²³ Quinones MA, Douglas PS, Foster E, Gorcsan J III, Lewis JF, et al. American College of Cardiology/American Heart Association clinical competence statement on echocardiography: a report of the American College of Cardiology/American Heart Association/American College of Physicians-American Society of Internal Medicine Task Force on Clinical Competence. *Circulation* 2003; 107: 1068-1089
- ²⁴ Beaulieu Y. Bedside echocardiography in the assessment of the critically ill. *Crit Care Med* 2007; 35: No 5 :S235-S249

- ²⁵ Kobal SL, Atar S, Siegel RJ. Hand-carried ultrasound improves the bedside cardiovascular examination. *Chest* 2004; 126: 693-701.
- ²⁶ Price S, Nicol E, Gibson DG, Evans TW. Echocardiography in the critically ill: current and potential roles. *Intensive Care Med* 2006; 32: 48-59.
- ²⁷ Vignon P, Mentec H, Terre S, Gastinne H, Gueret P, Lemaire F. Diagnostic accuracy and therapeutic impact of transthoracic and transesophageal echocardiography in mechanically ventilated patients in the ICU. *Chest* 1994; 106: 1829-34.
- ²⁸ Caille V, Amiel J-B, Charron C, Belliard G, Vieillard-Baron A, Vignon P. Echocardiography: a help in the weaning process. *Crit Care* 2010; 14:R120.
- ²⁹ Vignon P, Mentec H, Terré S, Gastinne H, Guéret P Lemaire F. Diagnostic accuracy and therapeutic impact of transthoracic and transesophageal echocardiography in mechanically ventilated patients in the ICU. *Chest* 1994; 106: 1829-34.
- ³⁰ Jensen MB, Sloth E, Larsen KM, Schmidt MB. Transthoracic echocardiography for cardiopulmonary monitoring in intensive care. *Eur J Anaesthesiol* 2004; 21: 700-7.
- ³¹ Vignon P, Frank MB, Lesage J, et al. Hand-held echocardiography with doppler capability for the assessment of critically-ill patients: is it reliable? *Intensive Care Med* 2004; 30: 718-23.
- ³² Rugolotto M, Chang CP, Hu B, Schnittger I, Liang DH. Clinical use of cardiac ultrasound performed with a hand-carried device in patients admitted for acute cardiac care. *Am J Cardiol* 2002; 90: 1040-1042.
- ³³ Royse CF. Ultrasound-guided haemodynamic state assessment. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol* 2009; 23: 273-283.

- ³⁴ Mazraeshahi RM, Farmer JC, Porembka DT. A suggested curriculum in echocardiography for critical care physicians. *Crit Care Med* 2007; 35, No 8 S431-S433.
- ³⁵ Vignon P. Hemodynamic assessment of critically ill patients using echocardiography Doppler. *Curr Opin Crit Care* 11: 227-234.
- ³⁶ Pinsky MR. Functional haemodynamic monitoring. *Curr Opin Crit Care* 2014; 20: 288-293.
- ³⁷ Cholley BP, Vieillard-Baron A, Mebazaa A. Echocardiography in the ICU: time for widespread use! *Intensive Care Med* 2005; 32: 9-10.
- ³⁸ Mayron R, Gaudio FE, Plummer D, Asinger R, Elsperger J. Echocardiography performed by emergency physicians: impact on diagnosis and therapy. *Ann Emerg Med* 1988; 17: 150-154.
- ³⁹ Jones AE, Tayal VS, Sullivan DM, et al. Randomized, controlled trial of immediate versus delayed goal-directed ultrasound to identify the cause of nontraumatic hypotension in emergency department patients. *Crit Care Med* 2004; 32: 1703-8.
- ⁴⁰ Levitt MA, Jan BA. The effect of real time 2-D-echocardiography on medical decision-making in the emergency department. *J Emerg Med* 2002; 22: 229-33.
- ⁴¹ Mandavia DP, Hoffner RJ, Mahaney K, Henderson SO. Bedside echocardiography by emergency physicians. *Ann Emerg Med* 2001; 38: 377-382.
- ⁴² Bustam A, Noor Azhar M, Singh Veriah R, Arumugam K, Loch A. Performance of emergency physicians in point-of-care echocardiography following limited training. *Emerg Med J* 2014; 31(5): 369-73.

- ⁴³ Cowie B. Focused cardiovascular ultrasound performed by anesthesiologists in the perioperative period: feasible and alters patient management. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2009; 23 (4): 450-456.
- ⁴⁴ Klein AA, Snell A, NAshef SAM, Hall RMO, Kneeshaw JD, Arrowsmith JE. The impact of intra-operative transoesophageal echocardiography on cardiac surgical practice. *Anaesthesia* 2009; 64: 947-952.
- ⁴⁵ Canty DJ, Royse CF. Audit of anaesthetist-performed echocardiography on perioperative management decisions for non-cardiac surgery. *Br J Anaesth* 2009; 103: 352-8.
- ⁴⁶ Spencer Kt, Anderson AS, Bhargava A, et al. Physician-performed point-of-care echocardiography using a laptop platform compared with physical examination in the cardiovascular patient. *J Am Coll Cardiol* 2001; 37: 2013-2018.
- ⁴⁷ Kimura BJ, AMundson SA, Willis Cl, et al. Usefulness of a hand-held ultrasound device for bedside examination of left ventricular function. *Am J Cardiol* 2002; 90: 1038-1039.
- ⁴⁸ Martin LD, Howell EE, Ziegelstein RC, Martire C, Whiting-O'Keefe QE, Shapiro EP, Hellmann DB. Hand-carried ultrasound performed by hospitalists: does it improve the cardiac physical examination? *Am J Med* 2009; 122: 35-41.
- ⁴⁹ Gorcsan III J, Pandey P, Sade E. Influence of hand-carried ultrasound on bedside patient treatment decisions for consultative cardiology. *J Am Soc Echocardiogr* 2004; 17: 50-5.
- ⁵⁰ Longjohn M, Wan J, Joshi V, PershadJ. Point-of-care echocardiography by pediatric emergency physicians. *Pediatr Emer Care* 2011; 27: 693-696.

⁵¹ Kluckow M, Seri I, Evans N. Echocardiography and the neonatologist. *Pediatr Cardiol* 2008; 29: 1043-1047.

⁵² Osborn DA, Evans N, Kluckow M. Clinical detection of low upper body blood flow in very premature infants using blood pressure, capillary refill time, and central-peripheral temperature difference. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2004; 89: F168-F173.

⁵³ Kluckow M. Low systemic blood flow and pathophysiology of the preterm transitional circulation. *Early Hum Dev* 2005; 81: 429-437.

⁵⁴ Skinner JR. Echocardiography on the neonatal unit: a job for the neonatologist or the cardiologist? *Arch Dis Child* 1998; 78: 401-402.

⁵⁵ Evans N. Echocardiography on neonatal intensive care units in Australia and New Zealand. *J Paediatr Child Health* 2000; 36: 169-171.

⁵⁶ Evans N, Gournay V, Cabañas F, Kluckow M, Leone T, Groves A, McNamara P, Mertens L. Point-of-care ultrasound in the neonatal intensive care unit: an international perspective. *Semin Fetal Neonatal Med* 2011; 16: 61-68.

⁵⁷ Kluckow M, Seri I, Evans N. Functional Echocardiography: an emerging clinical tool for the neonatologist. *J Pediatr* 2007; 125-130.

⁵⁸ Van Overmeire B, Chemtob S. The pharmacologic closure of the patent ductus arteriosus. *Semin Fetal Neonatal Med* 2005; 10: 177-184.

⁵⁹ Sehgal A, McNamara PJ. The Ductus Arteriosus: A Refined Approach! *Semin Perinatol* 2012; 36: 105-113.

⁶⁰ Lee HC, Silverman N, Hintz SR. Diagnosis of patent ductus arteriosus by a neonatologist with a compact, portable ultrasound machine. *J Perinatol* 2007; 27, 291-296.

⁶¹ Evans N, Kluckow M. Early ductal shunting and intraventricular haemorrhage in ventilated preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 1996; 75: F183-F186.

⁶² Davis P, Turner-Gomes S, Cunningham K, Way C, Roberts R, Schmidt B. Precision and accuracy of clinical and radiological signs in premature infants at risk of patent ductus arteriosus. *Arch Pediatr Adolesc Med* 1995; 149: 1136-1141.

⁶³ Urquhart DS, Nicholl RM. How good is clinical examination at detecting a significant patent ductus arteriosus in the preterm neonate? *Arch Dis Child* 2003; 88: 85-86.

⁶⁴ Skelton R, Evans N, Smythe J. A blinded comparison of clinical and echocardiographic evaluation of the preterm infant for patent ductus arteriosus. *J Paediatr Child Health* 1994; 30: 406-411.

⁶⁵ Heymann MA, Rudolph AM, Silverman NH. Closure of the ductus arteriosus in premature infants by inhibition of prostaglandin synthesis. *N Engl J Med* 1976; 295: 530-533.

⁶⁶ Friedman WF, Hirschklau MJ, Printz MP, et al: Pharmacologic closure of patent ductus arteriosus in the premature infants. *N Engl J Med* 1976; 295: 526-529.

⁶⁷ Hammerman C, Bin-Nun A, Markovitch E, Schimmel MS, Kaplan M, Fink D. Ductal closure with paracetamol: a surprising new approach to patent ductus arteriosus treatment. *Pediatrics* 2011; 128(6): e1618-21.

⁶⁸ Nadir E, Kassem E, Foldi S, Hochberg A, Feldman M. Paracetamol treatment of patent ductus arteriosus in preterm infants. *J of Perinatol* 2014; 34: 748-749.

⁶⁹ Ozdemir OMA, Dogan M, Kucuktasci K, Ergin H, Sahin OS. Paracetamol Therapy for Patent Ductus Arteriosus in Premature Infants: A Chance Before Surgical Ligation. *Pediatr Cardiol* 2014; 35:276–279.

⁷⁰ Sharma R, Hudak ML, Tepas JJ III, et al. Prenatal or postnatal indomethacin exposure and neonatal gut injury associated with isolated intestinal perforation and necrotizing enterocolitis. *J Perinatol* 2010; 30: 786-793.

⁷¹ Sehgal A, McNamara PJ. Indomethacin impairs coronary perfusion in infants with hemodynamically significant ductus arteriosus. *Neonatology* 2012; 101: 20-27.

⁷² Shimada S, Kasai T, Hoshi A, Et al. Cardiocirculatory effects of patent ductus arteriosus in extremely low-birth-weight infants with respiratory distress syndrome. *Pediatr Int* 2003; 45: 255-262.

⁷³ Koehne PS, Bein G, Alexi-Meskishvili V, Et al. Patent ductus arteriosus in very low birth weight infants: Complications of pharmacological and surgical treatment. *J Perinat Med* 2001; 29: 327-334.

⁷⁴ Van Overmeire B, Van de Brock H, Van Laer P, et al. Early versus late indomethacin treatment for patent ductus arteriosus in premature infants with respiratory distress syndrome. *J Pediatr* 2001; 138: 205-211.

⁷⁵ Gournay V, Roze JC, Kuster A, et al. Prophylactic ibuprofen versus placebo in very premature infants: a Randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet* 2004; 364: 1945-1949.

⁷⁶ Schmidt B, Davis P, Moddemann D, et al. Trial of indomethacin prophylaxis in preterms investigators. Long-term effects of indomethacin prophylaxis in extremely-low-birth-weight infants. *N Engl J Med* 2001; 344: 1966-1972.

⁷⁷ Van Overmeire B, Allegaert K, Casaer A, et al. Prophylactic ibuprofen in premature infants: A multicentre, randomised, double-blind, placebo-controlled trial. *Lancet* 2004; 364: 1945-1949.

⁷⁸ Kabra NS, Schmidt B, Roberts RS, et al: Trial of indomethacin prophylaxis in preterms investigators: Neurosensory impairment after surgical closure of patent ductus arteriosus in extremely low birth weight infants: Results from the Trial of Indomethacin Prophylaxis in preterms. *J Pediatr* 2007; 150: 229-234.

⁷⁹ Chorne N, Leonard C, Piecuch R, Et al. Patent ductus arteriosus and its treatment as risk factors for neonatal and neurodevelopmental morbidity. *Pediatrics* 2007; 119: 1165-1174.

⁸⁰ Knight DB. The treatment of patent ductus arteriosus in preterm infants. A review and overview of randomized trials. *Semin Neonatol* 2001; 6: 63-73.

⁸¹ Groves AM, Kuschel CA, Knight DB, Et al. Does retrograde diastolic flow in the descending aorta signify impaired systemic perfusion in preterm infants? *Pediatr Res* 2008; 63: 89-94.

⁸² Marshall DD, Kotelchuck M, Young TE, Et al. Risk factors for chronic lung disease in the surfactant era: A North Carolina population-based study of very low birth weight infants. North Carolina Neonatologists Association. *Pediatrics* 1999; 104: 1345-1350.

⁸³ Noori S, McCoy M, Friedlich P, et al. Failure of ductus arteriosus closure is associated with increased mortality in preterm infants. *Pediatrics* 2009; 123: e138.

⁸⁴ Brooks JM, Travadi JN, Patole SK, et al. Is surgical ligation of patent ductus arterisus necessary? The Western Australian experience of conservative management. *ARCh Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2005; 90: F235-F239.

⁸⁵ Cooke L, Steer P, Woodgate P. Indomethacin for asymptomatic patent ductus arteriosus in preterm infants. Cochrane Database Syst Rev 2: CD00374, 2003.

⁸⁶ Kluckow M, Jeffery M, Gill A, Evans N. A randomised placebo-controlled trial of early treatment of the patent ductus arteriosus. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed 2014; 99: F99-F104.

⁸⁷ Condo M, Evans N, Bellu R, Kluckow M. Echocardiographic assessment of ductal significance: retrospective comparison of two methods. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed 2012; 97: F35-F38.

⁸⁸ Sehgal A, Coombs P, Tan K, McNamara PJ. Spectral doppler waveforms in systemic arteries and physiological significance of a patent ductus arteriosus. J of Perinatol 2011; 31: 150-156.

⁸⁹ Cassell DE. The Ductus arteriosus. 1973. Charles C Thomas; Springfield, IL; 143-160.

⁹⁰ Silverman NH, Lewis AB, Heymann MA et al. Echocardiographic assessment of ductus arteriosus shunt in premature infants. Circulation 1974; 50: 821-825.

⁹¹ Teixeira LS, McNamara PJ. Enhanced intensive care for the neonatal ductus arteriosus. Acta Paediatr 2006; 95: 394-403.

⁹² Sehgal A, McNamara PJ. Coronary artery hypoperfusion is associated with impaired diastolic dysfunction in preterm infants after patent ductus arteriosus (PDA) ligation. E-PAS.5896.15

⁹³ Sehgal A, McNamara PJ. Does echocardiography facilitate determination of hemodynamic significance attributable to the ductus arteriosus? Eur J Pediatr 2009; 168: 907-914.

- ⁹⁴ Evans N. Diagnosis of the preterm patent ductus arteriosus: clinical signs, biomarkers or ultrasound? *Semin Perinatol* 2012; 36: 114-122.
- ⁹⁵ Carmo KB, Evans N, Paradisis M. Duration of indomethacin treatment of the preterm patent ductus arteriosus as directed by echocardiography. *J Pediatr* 2009; 155: 819-22.
- ⁹⁶ Bravo MC, Cabañas F, Riera J, et al. Randomised controlled clinical trial of standard versus echocardiographically guided ibuprofen treatment for patent ductus arteriosus in preterm infants: a pilot study. *J Matern Fetal Neonatal Med* 2014; 27 (9): 904-909.
- ⁹⁷ Su BH, Peng CT, Tsai CH. Echocardiographic flow pattern of patent ductus arteriosus: a guide to indomethacin treatment in premature infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 1999; 81: F197-F200.
- ⁹⁸ Ly LG, Hawes J, Whyte HE, Teixeira LS, McNamara PJ. The Hemodynamically significant ductus arteriosus in critically ill full-term neonates. *Neonatology* 2007; 91: 260-265.
- ⁹⁹ McNamara PJ, Sehgal A. Towards rational management of the patent ductus arteriosus: the need for disease staging. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2007; 92: F424-427.
- ¹⁰⁰ Noori S, Friedlich P, Seri I, et al. Changes in myocardial function and haemodynamics after ligation of the ductus arteriosus in preterm infants. *J Pediatr* 2007; 150: 597-602.
- ¹⁰¹ Teixeira LS, Shivananda SP, Stephens D, et al. Postoperative cardiorespiratory instability following ligation of the preterm ductus arteriosus is related to early need for intervention. *J Perinatol* 2008; 28: 803-810.

- ¹⁰² Sehgal A, McNamara PJ. Coronary artery perfusion and myocardial performance after patent ductus arteriosus ligation. *J Thorac Cardiovasc Surg* 2012; 143: 1271-8.
- ¹⁰³ Sehgal A. Haemodynamically unstable preterm infant: an unresolved management conundrum. *Eur J Pediatr* 2011; 170: 1237-1245.
- ¹⁰⁴ Dasgupta SJ, Gill AB. Hypotension in the very low birth weight infant: the old, the new and the uncertain. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2003; 88: F450-F454.
- ¹⁰⁵ Sehgal A, Osborn DA. Inotropic support for preterm infants: when, with what and why. Breakfast session at the 14th Annual Congress of the Perinatal Society of Australia and New Zealand, Wellington, New Zealand. 2010.
- ¹⁰⁶ Al-Aweel L, Pursley DM, Rubin LP, Shah B, Weisberger S, Richardson DK. Variations in prevalence of hypotension, hypertension and vasopressor use in NICUs. *J Perinatol* 2001; 21: 272-8.
- ¹⁰⁷ Kluckow M. Functional echocardiography in assessment of the cardiovascular system in asphyxiated neonates. *J Pediatr* 2011; 158: e13-8.
- ¹⁰⁸ Evans N, Kluckow M, Simmons M, Osborn D. Which to measure, systemic or organ blood flow? Middle cerebral artery and superior vena cava flow in very preterm infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed* 2002; 87: F181-F184.
- ¹⁰⁹ Weir FJ, Ohlsson A, Myhr TL, Fong K, Ryan ML. A patent ductus arteriosus is associated with reduced middle cerebral artery blood flow velocity. *Eur J Pediatr*. 1999;158:484-487.
- ¹¹⁰ Jain A, Mohamed A, et al. A comprehensive echocardiographic protocol for assessing neonatal right ventricular dimensions and function in the transitional period: normative data and z scores. *J Am Soc Echocardiogr* 2014; 27: 1293-304.

- ¹¹¹ Lipkin PH, Davidson D, Spivak I, Straube R, Rhines J, Chang CT. Neurodevelopmental and medical outcomes of persistent pulmonary hypertension in term newborns treated with nitric oxide. *J Pediatr* 2002; 140: 306-10.
- ¹¹² de Waal K, Kluckow M. Functional echocardiography; from physiology to treatment. *Early Hum Dev* 2010; 86: 149-154.
- ¹¹³ Dunn P. Localization of umbilical catheter by post - mortem measurement. *Arch Dis Child* 1966;41:69-75.
- ¹¹⁴ Shukla H, Ped D, Ferrara A. Rapid estimation of insertional length of umbilical venous catheters in newborns. *Am J Dis Child* 1986;140:786-8.
- ¹¹⁵ Rosen MS, Reich SB. Umbilical venous catheterization in the newborn: identification of correct positioning. *Radiology* 1970; 95: 335 - 40.
- ¹¹⁶ Campbell RE. Roentgenologic features of umbilical vascular catheterization in the newborn. *Am J Roentgenol Radium Ther Nucl Med* 1971;112:68- 76.
- ¹¹⁷ Greenberg M, Moyahead H, Peterson B, Bejar R. Placement of umbilical venous catheters with use of bedside real-time ultrasonography. *J Pediatr* 1994;126:633 - 5.
- ¹¹⁸ Ades A, Sable C, Cummings S, Cross R, Markle B, Martin G. Echocardiographic Evaluation of Umbilical Venous Catheter Placement. *J of Perinatol* 2003; 23: 24-28.
- ¹¹⁹ Pulickal AS, Charlagorla PK, Tume SC, Chhabra M, Narula P, Nadroo AM. Superiority of targeted neonatal echocardiography for umbilical venous catheter tip localization: accuracy of a clinician performance model. *J of Perinatol* 2013; 33: 950-953.
- ¹²⁰ Fleming SE, Kim JH. Ultrasound-guided umbilical catheter insertion in neonates *J of Perinatol* 2011; 31: 344-349.

- ¹²¹ Leung J, Duffy M, Finckh A. Real-time ultrasonographically-guided internal jugular vein catheterization in the emergency department increases success rates and reduces complications: a randomized, prospective study. *Ann Emerg Med* 2006; 48: 540–547.
- ¹²² Mills CN, Liebmann O, Stone MB, Frazee BW. Ultrasonographically guided insertion of a 15-cm catheter into the deep brachial or basilic vein in patients with difficult intravenous access. *Ann Emerg Med* 2007; 50: 68–72.
- ¹²³ Rupp SM, Apfelbaum JL, Blitt C, Caplan RA, Connis RT, Domino KB et al. Practice guidelines for central venous access: a report by the American Society of Anesthesiologists Task Force on Central Venous Access. *Anesthesiology* 2012; 116: 539–573.
- ¹²⁴ George L, Waldman JD, Cohen ML, Segall ML, Kirkpatrick SE, Turner SW et al. Umbilical vascular catheters: localization by two-dimensional echocardiography/aortography. *Pediatr Cardiol* 1982; 2: 237–243.
- ¹²⁵ Katheria AC, Fleming SE and Kim JH. A randomized controlled trial of ultrasound-guided peripherally inserted central catheters compared with standard radiograph in neonates. *Journal of Perinatology* 2013; 33: 791–794.
- ¹²⁶ Jain A, McNamara PJ, Ng E, El-Khuffash A. The use of targeted neonatal echocardiography to confirm placement of peripherally inserted central catheters in neonates. *Am J Perinatol*. 2012 Feb;29(2):101-6.
- ¹²⁷ Tauzin L, Sigur N, Jourbert C, Parra J, Hassid S, Moulies ME. Echocardiography allows more accurate placement of peripherally inserted central catheters in low birthweight infants. *Acta Paediatr* 2013; 102: 703-706.
- ¹²⁸ Mayo PH. Training in critical care echocardiography. *Ann Intensive Care* 2011; 1: 36.
- ¹²⁹ International expert statement on training standards for critical care ultrasonography. *Intensive Care Med* 2011.

¹³⁰ Vignon P, Mucke F, Bellec F, Marin B, et al. Basic critical care echocardiography: validation of a curriculum dedicated to non cardiologist residents. Crit Care Med 2011.

¹³¹ Charron C, Prat G, Caille V, Belliard G, et al. Validation of a skills assessment scoring system for transesophageal echocardiographic monitoring of hemodynamics. Intensive Care Med 2007; 33: 1712-1718.

¹³² Marum S, Price S. The use of echocardiography in the critically ill; the role of FADE (Fast ASsessment Diagnostic Echocardiography) training. Curr Cardiol Rev 2011; 7: 197-200.

¹³³ Beaulieu Y. Specific skill set and goals of focused echocardiography for critical care clinicians. Crit Care Med 2007; 35: S144-S149.

¹³⁴ Neri L, Storti E, Lichtenstein D. Toward an ultrasound curriculum for critical care medicine. Crit Care Med 2007; 35: S290-S304.

¹³⁵ Price S, Via G, Sloth E, Guarracino F, et al. Echocardiography practice, training and accreditation in the intensive care: document for the World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound (WINFOCUS). Cardiovasc Ultrasound 2008; 6: 49.

¹³⁶ Expert Round Table on Echocardiography in ICU. International consensus statement on training standards for advanced critical care echocardiography. Intensive Care Med 2014; 40: 654-666.

¹³⁷ Jones AE, Tayal VS, Kline JA. Focused training of emergency medicine residents in goal-directed echocardiography: a prospective study. Acad Emerg Med 2003; 10: 1054-1058.

- ¹³⁸ Sable C. Digital Echocardiography and telemedicine applications in pediatric cardiology. *Pediatr Cardiol* 2002; 23: 358-369.
- ¹³⁹ Sable CA, Cummings SD, Pearson GD, Schratz LM, et al. Impact of telemedicine on the practice of pediatric cardiology in community hospitals. *Pediatrics* 2002; 109: e3.
- ¹⁴⁰ Camara D. Minimizing risks associated with peripherally inserted central catheters in the NICU. *MCN Am J Matern Child Nurs* 2001; 26 (1): 17-21.
- ¹⁴¹ Weisz DE, Poon WB, James A, McNamara PJ. Low cardiac output secondary to a malpositioned umbilical venous catheter: Value of targeted neonatal echocardiography. *Am J Perinatol Rep* 2014;4:23–28.
- ¹⁴² Wyllie J. Neonatal Echocardiography Seminars in Fetal & Neonatal Medicine 2015; 20: 173-180.
- ¹⁴³ Canty DJ, Royse CF, Kilpatrick D, Williams DL, Royse AG. The impact of pre-operative focused transthoracic echocardiography in emergency non-cardiac surgery patients with known or risk of cardiac disease. *Anaesthesia* 2012; 67(7): 714–720.
- ¹⁴⁴ Jones AE, Craddock PA, Tayal VS, Kline JA. Diagnostic accuracy of left ventricular function for identifying sepsis among emergency department patients with non-traumatic symptomatic undifferentiated hypotension. *Shock* 2005; 24(6): 513–517.
- ¹⁴⁵ Groves AM, Kuschel CA, Skinner JR (2006) International perspectives: the neonatologist as an echocardiographer. *NeoReviews* 7: e391e9
- ¹⁴⁶ Roehr CC, te Pas AB, Dold SK, Breindahl M, et al. Investigating the European perspective on point-of-care echocardiography in the neonatal intensive care unit- A pilot study. *Eur J Pediatr* (2013) 172:907–911
- ¹⁴⁷ Schachinger S, Stansfield RB, Ensing G, Schumacher R. The prevalence of and

attitudes toward neonatal functional echocardiography use and training in the United States: A survey of neonatal intensive care unit medical directors. *J Neonatal Perinatal Med* 2014; 7 (2): 125-130.

¹⁴⁸ El-Khuffash AF, McNamara PJ. The patent ductus arteriosus ligation decision. *J Pediatr* 2011; 158(6): 1037–1038.

¹⁴⁹ Harabor A, Soraisham AS. Utility of targeted neonatal echocardiography in the management of neonatal illness. *J Ultrasound Med* 2015; 34:1259–1263.

¹⁵⁰ Corredera A, Rodríguez MJ, Arévalo P, Llorente B, Moro M, Arruza L. Ecocardiografía funcional en cuidados intensivos neonatales: experiencia en una unidad española a lo largo de un año. *An Pediatr (Barc)* 2014; 81(3):167-173.

¹⁵¹ Mertens L, Seri I, Marek J, Arlettaz R, Barker P, McNamara P et al. Targeted neonatal echocardiography in the neonatal intensive care unit: Practice Guidelines and Recommendations for Training Writing group of the American Society of Echocardiography (ASE) in collaboration with the European Association of Echocardiography (EAE) and the Association for European Pediatric Cardiologists (AEPC). *J Am Soc Echocardiogr* 2011; 24(10): 1057–1078.

¹⁵² Finan E, Sehgal A, El Khuffash A, McNamara PJ. Targeted Neonatal Echocardiography Services Need for Standardized Training and Quality Assurance. *J Ultrasound Med* 2014; 33:1833–1841.

¹⁵³ Australasian Society for Ultrasound in Medicine. CCPU in neonatal ultrasound. Available at: <http://www.asum.com.au>

¹⁵⁴ Evans N, Kluckow M. Neonatology Concerns about the TNE Consensus Statement. *J Am Soc Echocardiogr* 2012 Feb; 25(2):242.

¹⁵⁵ Breindahl M, Blennow M, Fauchère JC, Lluch MT, De Luca D, Marlow N, Picaud JC, Roehr CC, Vanpée M, Vilamor E, Zaharie G, Greisen G (2013) The European database for subspecialist training in neonatology—transparency achieved. *Neonatology*

¹⁵⁶ Azhibekov T, et al. Hemodynamic monitoring of the critically ill neonate: An eye on the future. Semin Fetal Neonatal Med 2015; <http://dx.doi.org/10.1016/j.siny.2015.03.003>.

¹⁵⁷ Noori S, Seri I. Evidence-based versus pathophysiology-based approach to diagnosis and treatment of neonatal cardiovascular compromise. Semin Fetal Neonatal Med; 2015, <http://dx.doi.org/10.1016/j.siny.2015.03.005>.

¹⁵⁸ Kluckow M. Use of ultrasound in the haemodynamic assessment of the sick neonate. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed 2014; 99: F332–F337.

Anexo 1

TARGETED NEONATAL ECHOCARDIOGRAPHY STANDARD ANATOMIC AND FUNCTIONAL PROTOCOL (Full Study)

GENERAL

This protocol is the reference protocol for image acquisition to exclude major congenital heart disease and evaluate neonatal cardiac function and hemodynamics. It should also be considered the reference protocol for the other TNE studies, which may be adapted to satisfy the unique . In the other protocols knowledge of the basic imaging views is assumed and they will focus more specifically on the particular information to be obtained with each different lesion.

KEY ELEMENTS

- **Sweeps**
 - Subcostal long & short axis in 2D and colour
 - Parasternal long & short axis in 2D and colour
 - Apical four chamber in 2D and colour
 - Supra-sternal; superiorly for arch sidedness; laterally for LSVC
- **Measurements**
 - All valve annuli
 - Branch PAs
 - Arch
 - Chamber and wall dimensions
- Define pulmonary and systemic venous return
- Shunts: atrial, ventricular, ductal
- Systolic and diastolic ventricular function

Principles of Imaging

1. Warm sterile ultrasound gel should be used for all imaging
2. Ensure that patient well-being is conducive to the performance of a complete study
3. The target duration for a standard TNE is no greater than 30 minutes
4. A clear ECG signal should be obtained on the imaging screen by connecting the cable from the monitor to the echocardiography machine.

5. A new study file should be created for the first echocardiography study. Patient details (name, hospital ID, and date of birth) should be carefully entered in bold ensuring no typographical errors. Follow-up studies should be added to the existing study file.
6. Time should be taken to ensure the optimal environment for imaging (e.g. room lighting, bed and patient positioning, patient temperature)
7. A neck roll should be available for high or supra-sternal evaluations
8. The order of image acquisition may be adapted to the clinical wellbeing and stability of the patient.
9. For the assessment of regurgitant jets the Nyquist limit should be maintained at 70 cm/sec.
10. Measurements may be done during the exam or at the end according to the wellbeing of the patient
11. Patients blood pressure, gestational age and weight should be recorded

SPECIFIC IMAGING WINDOWS

1. SUBCOSTAL

- **Situs view + sweep** in transverse plane: cross-section of spine, abdominal Ao + IVC (single sweep with colour doppler)
- **Abdominal Ao and IVC long axis**
 - colour IVC + PW hepatic veins
 - colour + PW Doppler in abdominal aorta ensuring minimum angle correction possible

Measurements: Descending aortic diastolic flow (level of the diaphragm)
Peak, mean, and end diastolic velocity of celiac trunk. Celiac VTI.

- **Long-axis views** with sweep from posterior to anterior. Acquire one colour Doppler sweep to screen for atrial communication (if present) and demonstrating atrio-ventricular and ventriculo-arterial connections. Specific interrogation (using 2D, color/ PW/ CW Doppler) may be needed if abnormalities are detected.
 - Posterior view: atrial septum: 2D + colour
 - Measure, colour, Doppler ASD / PFO if present
 - RV inflow, 2D + colour

- LVOT / Aortic valve, 2D + colour
- RV outflow, 2D + colour

Measurements: ASD size, shunt direction and gradient (2D, PWD)
Evaluation valvular gradient (where relevant)

- **Short axis subcostal views:** rotate **clockwise**
 - Bicaval view SVC and IVC (acquire 2D then colour Doppler)
 - One sweep from right to left with color box covering the interventricular septum.
 - Doppler at any level if pathology is suspected or turbulent / abnormal flow on colour Doppler is detected.
 - Superior mesenteric, celiac or renal artery 2D, color and PWD evaluation

Measurements: Evaluation valvular gradient (where relevant)
IVC diameter and respiratory variation (2D)
SMA, celiac, renal peak systolic and end-diastolic velocity, resistance and pulsatility index

2. **PARASTERNAL**

Long axis (PLAX):

- 2D PLAX image
- Zoom on the aortic valve;
- Zoom on the MV
- Colour aortic valve and mitral valves
- M-mode of LV at the level of tip of mitral valve leaflets with line of interrogation perpendicular to IVS.
- M-mode through aortic valve leaflets with line of interrogation perpendicular to aorta
- Acquire one colour sweep covering entire IVS from anterior to posterior to rule out VSDs

Measurements: Aortic valve annulus diameter (2D)
Evaluation valvular gradient (where relevant)
LV, RV cavity and wall dimensions
LV fractional shortening
LA: Ao ratio, LVET, R-R interval
Subjective evaluation of RV systolic performance

RV inflow in 2D:

- Zoom on the TV
- RV inflow view: colour + Doppler

Measurements: RVSp calculation (CWD)

RV outflow in 2D:

- Zoom the PV
- PW Doppler in RVOT and MPA / CW for PAp

Measurements: Pulmonary valve annulus diameter (2D)
Evaluation valvular gradient (where relevant)
RV VTI (PWD) for RVO calculation
Pulmonary artery acceleration time, RVET
Subjective evaluation of RV systolic performance

Short axis (SAX):

Level of aortic valve

- aortic valve , zoom valve, define cusps, colour
- image right and left coronary artery origins: 2D + color (lower Nyquist)
- tricuspid valve: 2D + colour + CW Doppler
- pulmonary valve + colour + PW (+ CW where relevant)

Measurements: RVSp calculation – if superior trace (CWD)
Evaluation valvular gradient (CWD where relevant)
MPA VTI (PWD) for RVO calculation – if superior trace
SVC diameter (M-mode or 2D) – angle counterclockwise and anterior

Level of LV: multiple levels 2D and colour flow Doppler screen

- the mitral valve; 2D + colour
- basal LV in short axis with M-mode measurements
- the papillary muscles
- LV apex.
- Single colour sweep of IVS from base to apex to exclude VSDs. Adapt color scales to lower levels (40-60 cm/s)

3. APICAL

Apical four chamber (A4C)

- 4-chamber view in 2D
- 4-chamber view sweep in colour from anterior to posterior to check for VSDs

A4C View, LV

- 2D view of LA / LV
- Zoom MV: 2D with annular measurement
- LV inflow: Colour, PWD and/or CWD
- Colour and PW pulmonary vein for velocities

Measurements: Mitral valve annulus diameter (2D)
 Transmitral flow (PWD) - E wave, A wave, deceleration time, A-duration
 Transmitral flow (CWD) if valvular regurgitation or if inflow obstruction present, measure peak and mean gradients
 Pulmonary vein flow (PWD) - S wave, D wave, A wave reversal velocity, A wave duration
 Subjective evaluation of RV systolic performance
 Ejection fraction (as indicated below) according to biplane Simpson's method

Apical five chamber

- 2D of LVOT + colour
- Doppler of LVOT: PW (+ CW where relevant)

Measurements: Isovolumic relaxation time (PWD)
 LVOT VTI for LVO calculation (PWD)
 Evaluation valvular gradient (CWD where relevant)

A4C view, RV

- 2D image of RA / RV
- Zoom TV: 2D
- colour RV inflow
- M-mode of tricuspid valve annulus
- PW + CW of TV
 - measure: E wave velocity from PW
 - if TR is present, do CW and measure

Measurements: Tricuspid valve annulus diameter (2D)
 Transtricuspid flow (PWD) - E wave, A wave
 Transtricuspid flow (CWD) if valvular regurgitation to estimate RVSP
 TAPSE (M-mode)

Apical two chamber

- 2D of LA / LV plus colour Doppler
- Measure ejection fraction to complete Simpson's biplane calculation

Apical three chamber

- A3C view in 2D + colour

4. SUPRASTERNAL

- In short axis: 2D + colour Doppler + PW SVC and ductus arteriosus (ductal sweep)
- Short axis arch sidedness sweep using colour Doppler
- Short axis sweep for left SVC using colour Doppler
- Arch long axis: 2D + colour + Doppler

Measurements: PDA diameter – pulmonary and aortic end (2D and Color Doppler)
Direction of ductal flow
Peak and mean velocity of transductal flow (PWD)
Pre- and post-ductal aortic arch gradient (PWD or CWD where relevant)

5. HIGH PARASTERNAL LONG AXIS

- Define pulmonary artery branches
- Define four pulmonary veins (crab view, in small children), acquire 2 D image and colour flow Doppler. Do PW Doppler if turbulent flow is detected.

Measurements: Pulmonary artery branch diameter (2D)
Pulmonary artery peak velocity and gradient (PWD)
Pulmonary venous peak velocity and gradient (PWD where relevant)

6. CRANIAL AXIAL VIEW

- Define middle cerebral artery (2D, color and PWD evaluation)

Measurements: MCA peak systolic and diastolic velocity, resistance and pulsatility index

Additional notes:

Systolic LV function

CALCULATE biplane Simpson's if

- If M-mode is abnormal (FS<25%)
- If regional wall motion abnormalities
- If paradoxical motion of the interventricular septum
- When abnormal geometry

Systolic RV function

- visual assessment

Anexo 1: Traducción al castellano

Ecocardiografía Neonatal Dirigida: Protocolo anatómico y funcional estándar (estudio completo)

General

Este protocolo es el protocolo de referencia para la adquisición de imágenes para excluir enfermedad cardíaca congénita mayor y evaluar la función cardíaca neonatal y su hemodinámica. También debe considerarse el protocolo de referencia para los otros estudios de TnECHO, que pueden ser adaptados. En los otros protocolos se da por hecho que hay un conocimiento de las vistas básicas y que se enfocarán específicamente en la información particular que se obtendrá en cada lesión distinta.

Elementos Clave

Vistas:

- Subcostal eje largo y corto en 2D y color
- Paraesternal eje largo y corto en 2D y color
- Apical cuatro cámaras en 2D y color
- Supra esternal, superior para el lado del arco cardíaco y lateral para la vena cava superior izquierda

Mediciones

- Anillos valvulares
- Ramas de la arteria pulmonar
- Arco
- Dimensiones de cámaras y paredes

Definición del retorno venoso pulmonar pulmonar y sistémico.

Shunts: auricular, ventricular y ductal

Función sistólica y diastólica

Principios de obtención de imágenes

1. Se utilizará gel de ultrasonido estéril y tibio para todos los casos
2. Asegurar el bienestar del paciente para la realización del estudio completo
3. La duración de un TnECHO estándar no debe ser mayor a 30 minutos.
4. Se deberá tener una señal adecuada de electrocardiograma en la pantalla conectando el cable del monitor al ecógrafo.
5. Se deberá crear un nuevo archivo de estudio para el primer estudio ecocardiográfico. Los detalles del paciente (nombre, número de identificación y fecha de nacimiento) deberán ser ingresados en negritas, asegurándonos de no cometer ningún error tipográfico. Los estudios de seguimiento se añadirán al primer archivo.
6. Se deberá tomar el tiempo suficiente para asegurar un ambiente óptimo para la obtención de las imágenes (por ejemplo la iluminación de la habitación, la posición del paciente, la temperatura de éste).
7. Se deberá tener disponible un el material necesario para hiperextender el cuello del paciente para las evaluaciones altas o supra esternales.
8. El orden de las imágenes puede adaptarse de acuerdo a las condiciones de estabilidad del paciente.
9. Para la evaluación de flujos regurgitantes, el límite Nyquist deberá mantenerse a 70cm/seg.
10. Las mediciones se podrán hacer durante el examen o al finalizarlo, de acuerdo a la situación del paciente.
11. Se deberá registrar la edad gestacional del paciente, su peso y su presión arterial.

Ventanas

1. Subcostal:

- Vista del situs y barrido en plano transverso: sección transversal de la columna, aorta abdominal y vena cava inferior (un barrido con doppler color).
- Aorta abdominal y Vena cava inferior (VCI) eje largo
 - VCI color y doppler pulsado (PWD) en venas hepáticas
 - Color y PWD de la aorta abdominal, asegurando el menor ángulo de corrección posible.

Mediciones:

Flujo en aorta descendente (a nivel del diafragma).

Velocidad pico, media y al final de la diástole en el tronco celiaco y el VTI de éste.

- Eje largo: barrido de posterior a anterior. Adquirir un barrido en doppler color para buscar comunicación interauricular y demostrar las conexiones aurículo-ventriculares y ventrículo-arteriales. Si se encontrara alguna anomalía, se necesitará imágenes específicas utilizando 2D, color, PWD y doppler continuo (CWD).
 - Vista posterior: septum interauricular en 2D y color
 - Medir comunicación interauricular (CIA) o foramen oval permeable (FOP) en color si está presente
 - Tracto de entrada al ventrículo derecho en 2D y color.
 - Tracto de salida del ventrículo izquierdo, válvula aórtica en 2D y color.
 - Tracto de salida del ventrículo derecho en 2D y color.

Mediciones: Tamaño del CIA, dirección y gradiente del shunt en 2D y PWD.

Evaluación del gradiente valvular (en caso de ser relevante).

- Eje corto subcostal: rotar en sentido del reloj

- Vista de vena cava superior (VCS) y vena cava inferior (VCI) en 2D y PWD.
- Barrido de derecha a izquierda con doppler color para evaluar septum interventricular.
- Doppler a cualquier nivel si se sospecha patología o si se aprecia un flujo anormal o turbulento en el doppler color.
- Evaluación de arteria mesentérica superior, celiaca o renal en 2D, color y PWD.

Mediciones: Evaluación del gradiente valvular (de ser relevante)

Diámetro de VCI y variación con la respiración (2D).

Velocidad pico y al final de diástole, índice de resistencia y pulsatilidad en arteria mesentérica superior, celiaca y renal.

2. Paraesternal

Eje largo:

- Imagen de eje largo en 2D.
- Ampliación de válvula aórtica.
- Ampliación de válvula mitral.
- Color en válvula aórtica y mitral.
- Modo M del ventrículo izquierdo (VI) a nivel de la punta de las valvas mitrales con la línea perpendicular al septo interventricular.
- Modo M a nivel de válvula aórtica con la línea perpendicular a la aorta.
- Barrido en color entre septum interventricular de anterior a posterior para descartar CIV.

Mediciones: Diámetro del anillo de la válvula aórtica.

Evaluación del gradiente valvular (de ser relevante).

Dimensiones de las paredes y cavidades del VI y VD.

Fracción de acortamiento del VI.

Cociente aurícula izquierda(AI)/aorta (Ao), intervalo R-R

Evaluación subjetiva de la función sistólica del VD.

Tracto de entrada del VD en 2D:

- Ampliación de la válvula tricúspide (VT)
- Vista del tracto de entrada del VD en color y doppler

Mediciones: Cálculo de la función sistólica del VD

Tracto de salida del VD en 2D:

- Ampliación de válvula pulmonar (VP).
- PWD en tracto de salida del VD, arteria pulmonar.
- CWD para presión de arteria pulmonar (AP).

Mediciones: Diámetro del anillo de VP en 2D.

Evaluación de la gradiente valvular (en caso de ser relevante).

VTI de VD en PWD para cálculo del gasto cardiaco derecho.

Tiempo de aceleración de la AP.

Evaluación subjetiva de la función sistólica del VD.

Eje corto:

Nivel de válvula aórtica:

- Válvula aórtica, ampliación de la válvula, color.
- Origen de las arterias coronarias derecha e izquierda en 2D y color (Nyquist bajo).
- Válvula tricúspide (VT) en 2D, color y CWD.
- VP en color y PWD (CWD de ser necesario).

Mediciones: Cálculo de la función sistólica del VD.

Evaluación de gradiente valvular (de ser necesario).

VTI de AP en PWD para cálculo del gasto cardiaco derecho.

Diámetro de la VCS (en 2 D o modo M): angular contra agujas del reloj y anteriorizar.

Nivel del VI: Múltiples cortes en 2D y CWD

- Válvula mitral en 2D y color
- Base del VI con mediciones en modo M
- Músculos papilares
- Ápex del VI
- Barrido en color del septo interventricular de la base al ápex para descartar CIV. Adaptar las escalas a nivel de 40-60cm/s.

3. Apical

Apical cuatro cámaras

- Cuatro cámaras en 2D.
- Cuatro cámaras, barrido en color de anterior a posterior para descartar CIV.

Apical cuatro cámaras y VI

- Vista en 2D de AI y VI.
- Ampliación de VM: 2D con medición de anillo valvular.
- Tracto de entrada del VI: color, PWD y CWD.
- Color y PWD en venas pulmonares para ver velocidades.

Mediciones: Anillo de VM en 2D.

Flujo transmitral (PWD): onda E, onda A, tiempo de desaceleración, duración A.

Flujo transmitral (CWD): si hubiera regurgitación valvular u obstrucción al tracto de entrada; en esos casos se mediría gradiente pico y medio.

Flujo de venas pulmonares (PWD): onda S, onda D, velocidad reversa de onda A.

Evaluación subjetiva de la función sistólica del VD.

Fracción de eyección de acuerdo al método Simpson.

Apical cinco cámaras

- Vista en 2D y color del tracto de salida del VI.
- Doppler del tracto de salida del VI: PWD (y CWD de ser necesario).

Mediciones: -Tiempo de relajación isovolumétrica (PWD).

- VTI del tracto de salida del VI para cálculo del gasto cardiaco (GC) izquierdo (PWD).

- Evaluación de la gradiente valvular (CWD de ser necesario).

Apical cuatro cámaras: Vista del VD

- Imagen en 2D de aurícula derecha (AD) y VD.
- Ampliación de VT en 2D
- Color en tracto de entrada del VD.
- Modo M para anillo de VT.
- PWD o CWD de VT: - medir velocidad de onda E.

-Si hubiera regurgitación tricuspídea, medir con CWD.

Mediciones: - Diámetro del anillo de VT en 2D.

- Flujo en VT con PWD: onda E y onda A.
- Si hubiera regurgitación en VT, medir con CWD para estimar presión sistólica del VD.

Apical de dos cámaras

- 2D y doppler color de AI y VI.
- Medir fracción de eyección para completar cálculo de Simpson.

Apical de tres cámaras

- Vista de apical tres cámaras en 2D y doppler color.

4. Supraesternal

- En eje corto: 2D, doppler color y PWD de VCS y ductus arterioso (DAP).
- Barrido en eje corto para evaluar el arco utilizando doppler color.
- Barrido en eje corto para evaluar VCS izquierda utilizando doppler color.
- Eje largo: evaluación del arco en 2D, y doppler.

Mediciones: - Diámetro del DAP: extremo pulmonar y aórtico en 2D y doppler color.

- Dirección del flujo del DAP.
- Velocidad pico y media del flujo transductal en PWD.
- Gradiente pre y post ductal en arco aórtico utilizando PWD o CWD.

5. Paraesternal alto, eje largo

- Definir ramas de arteria pulmonar.
- Definir cuatro venas pulmonares (vista del cangrejo), adquirir la imagen en 2D y doppler color. En caso de detectarse flujo turbulento, se debe hacer PWD.

Mediciones: - Diámetro de ramas de arteria pulmonar en 2D.

- Velocidad pico y gradiente de arteria pulmonar en PWD.
- Velocidad pico y gradiente de venas pulmonares.

6. Vista craneal axial

- Definir arteria cerebral media en 2D, doppler color y PWD.

Mediciones: - Velocidad sistólica y diastólica pico, índice de resistencia e índice de pulsatilidad de la arteria cerebral media.

Nota adicional:

Función sistólica de VI

Calcular Simpson si:

- Modo M es anormal (fracción de acortamiento $<25\%$).
- Se aprecian anormalidades regionales en la motilidad de las paredes.
- Motilidad paradójica en el septo interventricular.
- Geometría anormal.

Función sistólica de VD

- Evaluación visual.

Listado de abreviaturas

- TnECHO: Ecocardiografía neonatal dirigida.
- HSC: Hospital for Sick Children.
- FAST: Evaluación enfocada de ultrasonido para trauma.
- eFAST: Evaluación enfocada de ultrasonido para trauma extendido.
- UCI: Unidad de cuidados intensivo.
- FATE: Evaluación ecocardiográfica transtorácica dirigida.
- FOCUS: Ultrasonido cardiaco enfocado.
- ATLS: Soporte vital de trauma avanzado.
- UCIN: Unidad de cuidados intensivos neonatal.
- LA: Aurícula izquierda.
- RA: Aurícula derecha.
- MV: Válvula mitral.
- TV: Válvula tricuspídea.
- LV: Ventrículo izquierdo.
- RV: Ventrículo derecho.
- Ao: Aorta.
- RPA: Arteria pulmonar derecha.
- 2D: Dos dimensiones.
- PWD: Doppler pulsado.
- CWD: Doppler continuo.
- VTI: Integral de velocidad tiempo.
- CIV: Comunicación interventricular.
- IVS: Septum interventricular.
- AoV: Válvula aórtica.
- PA: Arteria pulmonar.
- IVC: Vena cava inferior.
- IAS: Septum interauricular.
- VCS: Vena cava superior.

- VCI: Vena cava inferior.
- DAP: Ductus arterioso persistente.
- DBP: Displasia broncopulmonar.
- HIV: Hemorragia intraventricular.
- NEC: Enterocolitis necrotizante.
- DAP-HS: Ductus arterioso persistente hemodinámicamente significativo.
- LPV: Leucomalacia periventricular.
- IC: Intervalo de confianza.
- OR: Odds ratio.
- AINEs: Antiinflamatorios no esteroideos.
- RN: Recién nacido.
- CIA: Comunicación interauricular.
- EG: Edad gestacional.
- PLCS: Síndrome cardíaco post ligadura de ductus.
- NNT: Número necesario para tratar.
- LVEDD: Diámetro del ventrículo izquierdo al final de la sístole.
- LVEDD: Diámetro del ventrículo izquierdo al final de la diástole.
- PCC: Catéter central de inserción periférica.
- CUV: Catéter venoso umbilical.
- FADE: Evaluación diagnóstica de ecocardiografía enfocada.
- GC: Gasto cardíaco.
- CPU: Ultrasonido realizado por el clínico.
- CCPU: Ultrasonido cardíaco realizado por el clínico.